



**ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ.  
СЕРИЯ: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**2020 Том 28 № 4**

**DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4**

**<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 77-611176 от 30.03.2015 г.

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

**Главный редактор**

**Редина Маргарита Михайловна** – доктор экономических наук, заведующая кафедрой прикладной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов, Москва, Россия

**Члены редакционной коллегии**

**Агнесси Валерио** – директор Итало-Российского института экологических исследований и образования Университета Палермо, Палермо, Италия

**Ван Жэньцин** – профессор, исполнительный директор постоянного комитета экологической ассоциации КНР, заведующий лабораторией экологии и биоразнообразия Института биологии Шаньдунского университета, Цзинань, Китай

**Гатто Леонардо** – профессор Университета Палермо, Палермо, Италия

**Зоренко Татьяна Анатольевна** – кандидат биологических наук, профессор биологического факультета Латвийского университета, Рига, Латвия

**Калабин Геннадий Александрович** – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов, Москва, Россия

**Никольский Александр Александрович** – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов, Москва, Россия

**Седов Сергей Николаевич** – профессор Института геологии Национального автономного университета Мексики, Мехико, Мексика

**Хаустов Александр Петрович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры прикладной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов, Москва, Россия

**Хуторской Михаил Давыдович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов, Москва, Россия

**Чен Хи** – заместитель директора Хунаньского центра по борьбе с болезнями и профилактике, Пекин, Китай

## **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» являются 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 03.02.00 Общая биология, 05.26.00 Безопасность деятельности человека, 25.00.00 Науки о Земле.

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 *Ю.А. Заикина*  
Компьютерная верстка *Ю.А. Заикиной*

**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 23.08.2021. Выход в свет 30.08.2021. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 11,55. Тираж 500 экз. Заказ № 1048. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов»  
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН  
Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3  
Тел. +7 (495) 952-04-41; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



## RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2020 VOLUME 28 NUMBER 4

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4

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

Founded in 1993

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

---

### EDITOR-IN-CHIEF

*Margarita M. Redina* – Doctor of Economics, Head of the Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

### EDITORIAL BOARD

*Valerio Agnessi* – Director of the Italian-Russian Institute for Ecological Education and Research Programs, University of Palermo, Palermo, Italy

*Xi Chen* – Deputy Director of the Huang Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing, China

*Leonardo Gatto* – Professor, University of Palermo, Palermo, Italy

*Gennady A. Kalabin* – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of System Ecology, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

*Alexander P. Khaustov* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

*Michael D. Khutorskoy* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

*Alexander A. Nikolsky* – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of System Ecology, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

*Sergey N. Sedov* – Professor, Institute of Geology UNAM, Mexico City, Mexico

*Renqing Wang* – Professor, Executive Director of the Permanent Committee of Ecologic Association of the People's Republic of China, Head of the Laboratory of Ecology and Biodiversity, Institute of Biology, Shandong University, Jinan, China

*Tatiana A. Zorenko* – Habilitated Doctor of Biological Sciences, Professor of the Biological Faculty, University of Latvia, Riga, Latvia

**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>

---

Copy Editor *Iu.A. Zaikina*  
Layout Designer *Iu.A. Zaikina*

**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  
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House  
3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation  
Tel.: +7 (495) 952-04-41; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКОЛОГИЯ

- Жигжитжапова С.В., Холбоева С.А., Дыленова Е.П.** Польнь Гмелина во флоре Бурятии: фитоценотическая приуроченность, состав эфирного масла .... 313
- Гончарова Е.Н., Курзнев И.Р., Василенко М.И., Пендюрин Е.А.** Биотестирование зоокомпоста культивирования личинок *Hermetia illucens* ..... 324

### ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Чердакова А.С., Гальченко С.В.** Изменение фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов ..... 336
- Наумова К.О., Станис Е.В.** Оценка пораженности территории Московской области карьерами открытой добычи строительных материалов ..... 349

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Сауц А.В., Сауц В.Н.** Оценка радиационной активности радона-222 при проектировании жилых зданий ..... 361

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G.** Ecological consciousness of the XXI century human and the ways of its verbalization in the media discourse environment (Экологическое сознание человека в XXI веке и способности его вербализации в медиадискурсивном пространстве) ..... 370

### ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Елшештави А.М., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А., Елшеви М.А.** Оценка точности геопозиционирования снимков в линейных проектах при различном количестве маршрутов ..... 381
- Николаева Л.А., Хуснутдинова Э.М.** Модернизация схемы очистки газовых выбросов линии производства бисульфита натрия от диоксида серы ..... 397

### ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Киричук А.А., Клименко А.С., Лобанова Ю.Н., Побилат А.Е., Мазиллина А.Н., Королева А.А.** Влияние магния на психоэмоциональное напряжение и функциональную активность сердечно-сосудистой системы у студентов из стран Африки ..... 408
- Kamruzzaman S.Md.** Moving towards sustainable development goals: initiatives of Bangladeshi youth organizations during corona outbreak (Движение к целям устойчивого развития: инициативы бангладешских молодежных организаций во время вспышки коронавируса) ..... 417

### УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

- Курбатова А.И.** Аналитический обзор по современным исследованиям изменений биотических составляющих углеродного цикла ..... 428

## CONTENTS

### ECOLOGY

- Zhigzhitzhapova S.V., Kholboeva S.A., Dylenova E.P.** *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. within the Buryatian flora: phytocenotic confinedness, composition of essential oil ..... 313
- Goncharova E.N., Kurzenev I.R., Vasilenko M.I., Pendyurin E.A.** Bio-testing of cultivation zoocompost of *Hermetia illucens* larvae ..... 324

### GEOECOLOGY

- Cherdakova A.S., Galchenko S.V.** Change of phytotoxicity of soils contaminated with oil products in the process of their microbiological remediation during the application of humic preparations ..... 336
- Naumova K.O., Stanis E.V.** Assessment of the open-mining prevalence on the territory of Moscow region ..... 349

### LIFE SAFETY

- Sauts A.V., Sauts V.N.** Assessment of radon-222 radiation activity in the design of residential buildings ..... 361

### ENVIRONMENTAL EDUCATION

- Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G.** Ecological consciousness of the XXI century human and the ways of its verbalization in the media discourse environment ..... 370

### ENVIRONMENTAL DEFENCE

- El Sheshtawy A.M., Limonov A.N., Gavrilova L.A., Elshewy M.A.** Assessing the georeferencing accuracy of different amount of image stripes for linear UAV projects ..... 381
- Nikolaeva L.A., Khusnutdinova E.M.** Modernization of the gas emissions treatment scheme of sodium bisulfite production line from sulfur dioxide ..... 397

### HUMAN ECOLOGY

- Kirichuk A.A., Klimenko A.S., Lobanova Y.N., Pobilat A.E., Mazilina A.N., Koroleva A.A.** The impact of magnesium on psycho-emotional stress and functional activity of the cardio-vascular system in students from African countries ..... 408
- Kamruzzaman S.Md.** Moving towards sustainable development goals: initiatives of Bangladeshi youth organizations during corona outbreak ..... 417

### ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

- Kurbatova A.I.** Analytical review of modern studies of changes in the biotic components of the carbon cycle ..... 428

ЭКОЛОГИЯ  
ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-313-323

УДК 581.5

Научная статья / Scientific article

Полынь Гмелина во флоре Бурятии:  
фитоценотическая приуроченность,  
состав эфирного маслаС.В. Жигжитжапова<sup>1</sup>, С.А. Холбоева<sup>2</sup>, Е.П. Дыленова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Байкальский институт природопользования  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
Российская Федерация, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6  
<sup>2</sup>Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова,  
Российская Федерация, 670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 24а

 Zhig2@yandex.ru

**Аннотация.** Бурятия как часть Байкальской Сибири является одним из основных центров происхождения и морфологического разнообразия полыни в Евразии. Во флоре Бурятии отмечено 48 видов и подвидов полыни, среди которых полынь Гмелина *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. В работе впервые представлен состав эфирного масла *A. gmelinii*, произрастающей в редком сообществе абрикоса сибирского. Сырье для получения эфирного масла собирали в ходе экспедиций по Республике Бурятия (Кяхтинский район, окр. с. Тамир – южные склоны Тамирского хребта) в 2020 г. Растительность склона Тамирского хребта представлена кустарниковыми сообществами из реликта Восточной Азии миоцен-плиоценового возраста – *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. Установлено, что доминирующими компонентами эфирного масла полыни Гмелина из абрикосника являются 1,8-цинеол, гермакрен Д, камфора, борнеол, кариофиллен. Эфирные масла полыни Гмелина, произрастающей на территории Сибири, хемотипа с преобладанием в составе монотерпеноидов по групповому составу образуют два подтипа, характерных: 1) для восточносибирских популяций полыни Гмелина с преобладанием в составе эфирных масел сесквитерпеноидов; 2) для западносибирских популяций полыни Гмелина с преобладанием в составе эфирных масел монотерпеноидов.

**Ключевые слова:** Бурятия, Сибирь, полынь Гмелина, *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm., эфирное масло, хемотип, *Armeniaca sibirica* (L.) Lam., монотерпеноиды, сесквитерпеноиды, 1,8-цинеол, камфора, тип ментана

**Вклад авторов.** С.В. Жигжитжапова – анализ полученных данных, написание текста; С.А. Холбоева – сбор и определение растительного сырья, описание сообщества; Е.П. Дыленова – выделение эфирного масла, обработка материалов.

© Жигжитжапова С.В., Холбоева С.А., Дыленова Е.П., 2020

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

**История статьи:** поступила в редакцию 15.09.2020; принята к публикации 25.09.2020.

**Для цитирования:** Жигжитжапова С.В., Холбоева С.А., Дыленова Е.П. Полынь Гмелина во флоре Бурятии: фитоценотическая приуроченность, состав эфирного масла // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 313–323. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-313-323>

## ***Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. within the Buryatian flora: phytocenotic confinedness, composition of essential oil**

Svetlana V. Zhigzhitzhapova<sup>1</sup>  ,  
Svetlana A. Kholboeva<sup>2</sup> , Elena P. Dylenova<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>*Baikal Institute of Nature Management  
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
6 Sakhyanovoy St, Ulan-Ude, 670047, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Banzarov Buryat State University,  
24a Smolina St, Ulan-Ude, 670000, Russian Federation*

 Zhig2@yandex.ru

**Abstract.** Buryatia as a part of Baikalian Siberia is one of the main centers of origin and morphological diversity of wormwood in Eurasia. There are 48 species and subspecies of wormwood within Buryatian flora, one of which is *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. For the first time the composition of the essential oils of *A. gmelinii* growing in the rare community of Siberian apricot (*Armeniaca sibirica* (L.) Lam) is presented in this work. Essential oils were obtained from the raw materials collected during the field works on the territory of the Republic of Buryatia (Kyakhtinsky district, surroundings of Tamir village – Southern slopes of the Tamir range) in 2020. The vegetation of the Tamir range’s slope is represented by shrub communities from the relict of Eastern Asia growing since the Miocene-Pliocene time – *Armeniaca sibirica*. The dominant components of essential oil’s of *A. gmelinii* from apricot community are 1,8-cineole, germacrene D, camphor, borneol, caryophyllene. Essential oils of *A. gmelinii* growing within the Siberian flora of one chemotype with a predominance of monoterpenoids in the group composition form two subtypes, prevailing: 1) in the East Siberian populations of *A. gmelinii* with a predominance of sesquiterpenoids in the composition of essential oils; 2) in the West Siberian populations of *A. gmelinii* with a predominance of monoterpenoids in essential oils.

**Keywords:** Buryatia, Siberia, *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm., essential oil, component composition, chemotype, *Armeniaca sibirica* (L.) Lam., monoterpenoids, sesquiterpenoids, 1,8-cineole, camphor, type of menthane

**Authors’ contributions.** Svetlana V. Zhigzhitzhapova – analysis of the obtained data, writing the text; Svetlana A. Kholboeva – collection and determination of plant raw materials, description of the community; Elena P. Dylenova – extraction of essential oil, processing of materials.

**Article history:** received 15.09.2020; revised 25.09.2020.

**For citation:** Zhigzhitzhapova SV, Kholboeva SA, Dylenova EP. *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. within the Buryatian flora: phytocenotic confinedness, composition of essential oil. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):313–323. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-313-323>

## Введение

Полынь *Artemisia* L. привлекает внимание как один из интереснейших и сложнейших родов. Бурятия как часть Байкальской Сибири представляет сложный фитогеографический узел на пересечении экосистем Северной и Центральной Азии [1; 2] и является одним из основных центров происхождения и морфологического разнообразия полыней в Евразии [3]. Во флоре Бурятии отмечено 48 видов и подвидов полыней [4], одним из которых является полынь Гмелина *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. Это мезоксерофитный полукустарник, произрастающий на территории России (Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток), Китая, Монголии, Афганистана, Северной Индии, Японии, Казахстана, Кореи, Кыргызстана, Непала, Северного Пакистана, Таджикистана, Узбекистана, Западной Европы. Распространен в луговых закустаренных степях, опушках, колках, кустарниковых зарослях по берегам рек, обрывам и крутым склонам [5]. Вид входит в состав сообществ горных и пустынных степей. *A. gmelinii* на территории Бурятии встречается на склонах отрогов с крупнолыбистой и щебнисто-каменистой поверхностью, в составе горных пород которых преобладают биотитовые граниты, граносиениты [6]. И только на российской территории бассейна р. Селенга на каменистых склонах южной экспозиции произрастает реликт «абрикос сибирский» *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. Повышенная инсоляция таких склонов дает возможность проникнуть в таежный пояс типично степным кустарникам [7].

В настоящей работе впервые представлен состав эфирного масла *A. gmelinii*, произрастающей в редком сообществе абрикоса сибирского. Состав эфирного масла полыни Гмелина изучен для растений, произрастающих в Западной Сибири (Республика Алтай, Красноярский край, Томская область) [8]. Ранее нами были изучены составы эфирных масел полыни Гмелина из России (Республика Бурятия, Иркутская область) и Монголии [9], что позволило провести сравнительный анализ составов масел растений из разных сообществ. Для растений, произрастающих вне Сибири, имеются сведения о составе эфирных масел из Дальнего Востока [10], Казахстана [11], Индии [12; 13] и Непала [14].

## Материалы и методы

Сырье для получения эфирного масла собирали в ходе экспедиционных работ в Кяхтинском районе Республики Бурятия (окрестности с. Тамир – южные склоны Тамирского хребта – отрога Малханского хребта, урочище Подзвонкая) в 2020 г в фазу цветения. Координаты участка: 107°19' в. д. и 107°20' в. д., 50°12 с. ш. и 50°13 с. ш., высота над уровнем моря – 760 м.

Эфирное масло получали методом гидродистилляции из воздушно-сухого сырья в год сбора (масса сырья – 49 г, продолжительность перегонки – 3 ч с момента закипания). Анализ масла проводили методом хромато-масс-спектрометрии на газовых хроматографах Agilent Packard HP 6890 N с квадрупольным масс-спектрометром (HP MSD 5973) в качестве детектора и Agilent 7890B с масс-спектрометром типа тройной квадруполь 7000C. Использовалась 30-метровая кварцевая колонка HP-5 MSD с внутренним диаметром 0,25 мм. Процентный состав эфирного масла вычисляли по площадям газохроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов. Качественный анализ основан на сравнении времен и индексов удерживания, а также полных масс-спектров, библиотеки хромато-масс-спектрометрических данных летучих веществ растительного происхождения [15], а также электронной библиотеки NIST14.

Данные по компонентному составу эфирного масла с целью визуализации были обработаны методом главных компонент (МГК-анализ, программный пакет Sirius version 6.0, Pattern Recognition Systems, a/s, Норвегия).

### Результаты и их обсуждение

Климат региона – резко-континентальный. По данным ближайшей метеостанции Бичура, в ходе наблюдений за 2019 г. средняя температура января составляла  $-25^{\circ}\text{C}$ , июля  $+20,1^{\circ}\text{C}$  (с максимумом  $35,7^{\circ}\text{C}$ ), среднегодовая сумма осадков – 200–250 мм [16]. На специфику микроклиматических параметров большое влияние оказывает макро- и мезорельеф территории. Локация места сбора образцов полыни находится на южном склоне отрога субширотного простирания, защищена от северо-западных холодных ветров, крутизна склонов достаточно большая, в пределах  $7-25^{\circ}$ . Совокупность факторов обуславливает сравнительно большую теплообеспеченность местообитания, что характерно для немногочисленных популяций абрикоса сибирского в Бурятии [17].

Растительность склона Тамирского хребта представлена кустарниковыми сообществами из *Armeniaca sibirica* – реликта флороцено типа широколиственных лесов Восточной Азии миоцен-плиоценового возраста [18]. Общее проективное покрытие кустарниковых сообществ составляет 50–80 %. Кроме доминанта – *Armeniaca sibirica*, произрастают кустарники *Spiraea aquilegifolia*, *Ribes pulchellum*, *Cotoneaster melanocarpus*, а также полукустарник *Artemisia gmelinii*, единично отмечены особи *Rhamnus erytroxylon*. Между выходами камней развит травянистый ярус, в котором преобладают стержнекорневые поликарпики *Pulsatilla turczaninovii*, *Lespedeza juncea*, *Filifolium sibiricum*; из злаков и осок представлены *Poa botryodes*, *Achnatherum sibirica*, *Carex pediformis* и др. В целом флористический состав абрикосников характеризуется преобладанием южносибирских, евроазиатских видов со сравнительно высокой для региона Южной Бурятии долей центральноазиатских и восточноазиатских элементов флоры [19]. Полынь Гмелина является содоминантом и ассектатором в сообществах на значительной части изученной территории. Наибольшее обилие *A. gmelinii* отмечено в ассоциации абрикосников гмелинополынных (*Armeniaca sibirica*, *Artemisia gmelinii*, *Chamaerhodos erecta*, *Filifolium sibiricum*, *Artemisia commutata*), где его проективное покрытие достигает 10–15 %. Высота кустов полыни – 80–90 см, побеги морфологически хорошо развиты.

В составе эфирного масла полыни Гмелина из сообщества абрикоса сибирского идентифицировано 39 компонентов. Доминирующими являются 1,8-цинеол (31,2 %), гермакрен Д (12,1 %), камфора (6,9 %), борнеол (6,9 %), кариофиллен (3,9 %) (таблица).

**Компонентный состав эфирных масел *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm., произрастающих в сообществе *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. (Кяхтинский район Республики Бурятия, 2020 г.)**

Компонент	Индекс удерживания, J	Содержание компонентов, % от цельного масла
Трициклен	921	0,1
$\alpha$ -пинен	932	0,3
Камфен	947	1,4
Вербинен	952	0,1
Бензальдегид	958	0,1
Сабинен	973	0,1
2,3-дегидро-1,8-цинеол	990	0,3
$\alpha$ -фелландрен	1004	0,3
$\alpha$ -терпинен	1017	1,5
<i>l</i> -цимол	1024	1,7
1,8-цинеол	1031	31,2
<i>цис</i> - $\beta$ -оцимен	1038	0,1
<i>транс</i> - $\beta$ -оцимен	1048	0,5
$\gamma$ -терпинен	1058	2,5
Терпинолен	1088	0,6
Линалоол	1100	0,7
<i>цис</i> - <i>l</i> -мент-2-ен-1-ол	1121	1,5
<i>транс</i> - <i>l</i> -мент-2-ен-1-ол	1141	1,4
Камфора	1144	6,9
Борнеол	1168	6,9
Терпинеол-4	1177	0,1
$\alpha$ -терпинеол	1191	2,5
<i>цис</i> -пиперитол	1195	0,6
<i>транс</i> -пиперитол	1207	0,8
Борнилацетат	1287	1,3
$\alpha$ -копаен	1378	0,7
Кариофиллен	1422	3,4
(E)- $\beta$ -фарнезен	1458	0,5
Гумулен	1456	0,8
Гермакрен Д	1484	12,1
$\beta$ -селинен	1488	0,8
$\alpha$ -зингиберен	1496	1,1
Бициклогермакрен	1500	2,4
$\beta$ -бисаболен	1511	0,6
Давана эфир (изомер 1)	1515	0,7
Артедоугласия оксид С	1526	1,9
Артедоугласия оксид А	1538	1,8
Ласиниата фуранон Е	1542	1,1
<i>транс</i> -даванон	1566	1,3
<i>цис</i> -даванон	1590	2,6

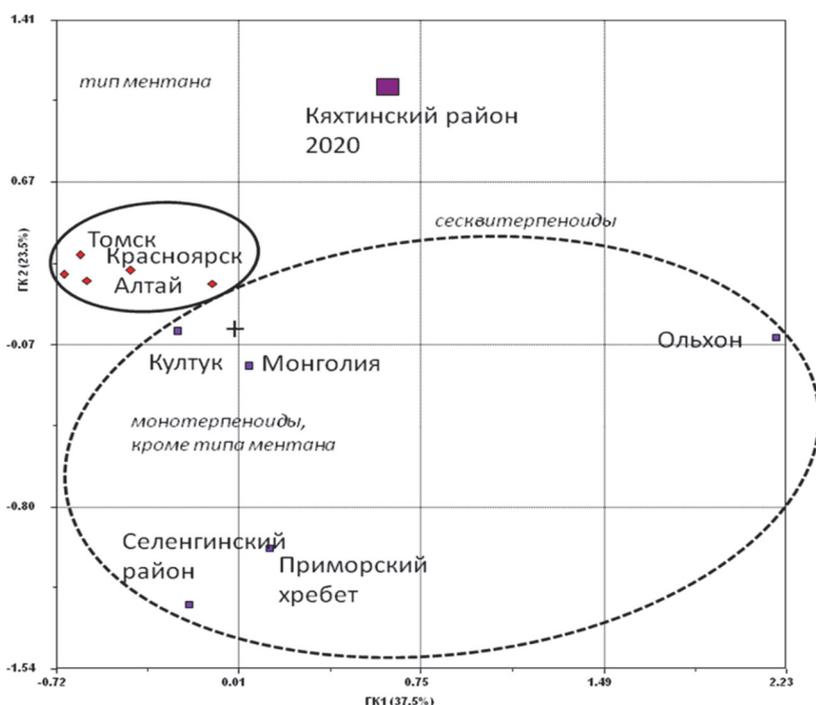
**Chemical composition of essential oils of *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. growing in in the community *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. (Kyakhtinsky district of the Republic of Buryatia, 2020)**

Compounds	Retention index, J	Peak area, %
Tricyclene	921	0.1
$\alpha$ -pinene	932	0.3
Camphene	947	1.4
Verbenene	952	0.1
Benzaldehyde	958	0.1
Sabinene	973	0.1
2,3-dehydro-1,8-cineol	990	0.3
$\alpha$ -phellandrene	1004	0.3
$\alpha$ -terpinene	1017	1.5
<i>para</i> -cymol	1024	1.7
1,8-cineol	1031	31.2
<i>cis</i> - $\beta$ -ocimene	1038	0.1
<i>trans</i> - $\beta$ -ocimene	1048	0.5
$\gamma$ -terpinene	1058	2.5
Terpinolene	1088	0.6
Linalool	1100	0.7
<i>cis-para</i> -menth-2-en-1-ol	1121	1.5
<i>trans-para</i> -menth-2-en-1-ol	1141	1.4
Camphor	1144	6.9
Borneol	1168	6.9
Terpinen-4-ol	1177	0.1
$\alpha$ -terpineol	1191	2.5
<i>cis</i> -piperitol	1195	0.6
<i>trans</i> -piperitol	1207	0.8
Bornyl acetate	1287	1.3
$\alpha$ -copaene	1378	0.7
Caryophyllene	1422	3.4
(E)- $\beta$ -farnesene	1458	0.5
Humulene	1456	0.8
Germacrene D	1484	12.1
$\beta$ -selinene	1488	0.8
$\alpha$ -zingiberene	1496	1.1
Bicyclogermacrene	1500	2.4
$\beta$ -bisabolene	1511	0.6
Davana ether (isomer 1)	1515	0.7
artedouglasia oxide C	1526	1.9
artedouglasia oxide A	1538	1.8
laciniata furanone E	1542	1.1
<i>trans</i> -davanone	1566	1.3
<i>cis</i> -davanone	1590	2.6

Сравнение с литературными данными показывает, что изученное масло по основным компонентам схоже с эфирными маслами из растений Сибири и совершенно отлично от эфирных масел растений из других регионов. Так, в эфирных маслах полыни Гмелина из штата Уттаракханд Индии доми-

нирующим компонентом является артемизиакетон (40,7–53,34 %) [12; 13]. Растения, произрастающие в Непале, являются травянистыми многолетниками и основными компонентами выступают фламенол (15,17 %), 2-метил-1-метилтен-3-(1-метилэтил)-циклопентан (3,93 %), 3-этил-3-метокси-2-циклопентенон (3,51 %) [14].

Эфирные масла полыни Гмелина в Сибири образуют два хемотипа: первый характеризуется наличием большого количества хризантенилацетата в составе эфирного масла (Горный Алтай), у второго константными компонентами эфирных масел являются монотерпеноиды: *n*-цимол, 1,8-цинеол,  $\gamma$ -терпинен, камфора, пинокарвон, борнеол, терпинеол-4,  $\alpha$ -терпинеол, борнилацетат, спатчуленол и окись кариофиллена (Республика Алтай, окрестности Томска, Красноярский край) [8; 20]. Состав основных компонентов эфирных масел (1,8-цинеол, камфора) *A. gmelinii* близок к таковому из Бурятии, Иркутской области и Монголии [9] и в то же время относится ко второму хемотипу, характерному и для растений предгорного равнинного Алтая, окрестностей Томска и Красноярского края [8]. Борнеол был обнаружен ранее среди основных компонентов, а кариофиллен и гермакрен Д – среди минорных соединений эфирных масел растений Бурятии, Иркутской области [8]. Биplot анализа данных по групповому составу эфирных масел полыни Гмелина флоры Сибири, как по собственным, так и литературным данным, представлен на рисунке. Из анализа литературных данных исключены образцы эфирных масел от полыней хемотипа хризантенилацетата и культивированных растений.

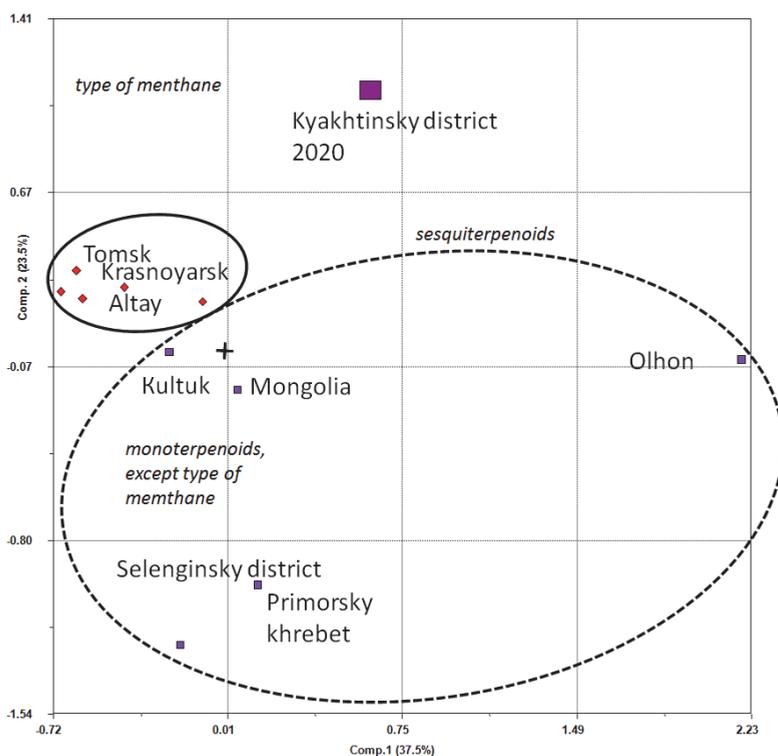


Метод главных компонент. Биplot (ГК1--ГК2) данных группового состава эфирных масел *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. флоры Сибири:

ромбами (литературные данные – 5 образцов) и квадратами (собственные данные – 6 образцов) обозначены образцы эфирных масел *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. флоры Сибири:

Россия – Кяхтинский район, 2020 – Республика Бурятия [настоящая статья];

Ольхон – Иркутская область, Приморский хребет – Иркутская область, Селенгинский район – Республика Бурятия, Култук – Иркутская область [9]; Алтай – Республика Алтай, Томск – Томская область, Красноярск – Красноярский край [8]



Principal component analysis's biplot (components 1 and 2) of data on the group composition of essential oils *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. of the flora of Siberia: diamonds (literature data – 5 samples) and squares (own data – 6 samples) present data from: Russia – Kyakhtinsky district 2020 – Republic of Buryatia [current paper]; Olhon – Irkutsk region, Primorsky khrebet – Irkutsk region, Selenginsky district – Republic of Buryatia, Kultuk – Irkutsk region [9]; Altay – Altai Republic, Tomsk – Tomsk region, Krasnoyarsk – Krasnoyarsk region [8]

Эфирные масла образуют два локуса на биplotе: первый включает эфирные масла от растений с Байкальской природной территории (Иркутская область, Бурятия) и Монголии и занимают центральную и нижнюю часть; второй представлен образцами из Западной Сибири (Томск, Красноярск, Алтай). Образец из сообщества абрикоса сибирского (Кяхтинский район, 2020 г.) обособлен от обеих групп и более близок к эфирным маслам из западносибирских популяций по содержанию монотерпеноидов типа ментана, включающего и 1,8-цинеол. С образцами из восточных популяций полыни Гмелина его объединяет значительная доля в эфирном масле сесквитерпеноидов, в том числе гермакрена Д и кариофиллена. На наш взгляд, сравнительно большая теплообеспеченность местообитания полыни Гмелина в сообществах *Artemisia sibirica* в Кяхтинском районе Республики Бурятия поспособствовала формированию состава эфирного масла полыни Гмелина с групповым составом компонентов, средним между западно- и восточносибирскими популяциями.

### Заключение

Характерными для эфирного масла полыни Гмелина сибирской флоры, вне зависимости от места произрастания, являются 1,8-цинеол и камфора. Групповой состав эфирных масел – это результат действия факторов среды

на растение. Эфирные масла полыни Гмелина флоры Сибири одного хемотипа с преобладанием в составе монотерпеноидов по групповому составу образуют два подтипа, характерных: 1) для восточносибирских популяций полыни Гмелина с преобладанием в составе эфирных масел сесквитерпеноидов; 2) для западносибирских популяций полыни Гмелина с преобладанием в составе эфирных масел монотерпеноидов.

### Список литературы

- [1] Намзалов Б.Б. Байкальский фитогеографический узел как новейший центр эндемизма Внутренней Азии // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 16. № 4. С. 563–571.
- [2] Бурятия : растительный мир / отв. ред. Б.Б. Намзалов. Улан-Удэ : Изд-во Бурятского государственного университета, 1997. Вып. II. 250 с.
- [3] Крашенинников Н.М. Опыт филогенетического анализа некоторых евроазиатских групп рода *Artemisia* L. в связи с особенностями палеогеографии Евразии // Материалы по истории флоры и растительности СССР. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1946. Вып. 2. С. 87–196.
- [4] Намзалов Б.Б., Жигжитжапова С.В., Дубровский Н.Г., Сахьяева А.Б., Раднаева Л.Д. Полыни Бурятии: анализ разнообразия, эколого-географических особенностей и хемотаксономии секции *Abrotanum* // Acta Biologica Sibirica. 2019. Т. 5. № 3. С. 178–187.
- [5] Флора Сибири : в 14 т. Т. 13. Asteraceae (Compositae) / сост. И.М. Красноборов, М.Н. Ломоносова, Н.Н. Тупицына и др. Новосибирск : Наука. Сиб. предприятие РАН, 1997. 472 с.
- [6] Государственная геологическая карта Российской Федерации: М-48-VI (Улан-Удэ). 2-е изд. Улан-Удэ : ГФУП Бурятгеоцентр, 2001. (Селенгинская серия. Масштаб : 1 : 200000).
- [7] Экосистемы бассейна Селенги / отв. ред. Е.А. Востокова, П.Д. Гунин. М. : Наука, 2005. 359 с.
- [8] Ханина М.А., Серых Е.А., Покровский Л.М., Ткачев А.В. Результаты химического исследования *Artemisia gmelinii* Web. et Stechm. флоры Сибири // Химия растительного сырья. 2000. № 3. С. 77–84.
- [9] Жигжитжапова С.В., Соктоева Т.Э., Раднаева Л.Д. Химический состав эфирного масла *Artemisia gmelinii* Web. et Stechm., произрастающей в Центральной Азии // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 131–133.
- [10] Ozek G., Suleimen Y., Tabanca N., Doudkin R., Gorovoy P.G., Göger F., Wedge D.E., Ali A., Khan I.A., Baser K.H.C. Chemical diversity and biological activity of the volatiles of five artemisia species from Far East Russia // Rec. Nat. Prod. 2014. Vol. 8. No. 3. Pp. 242–261.
- [11] Suleimenov E.M., Tkachev A.V., Adekenov S.M. Essential oil from Kazakhstan Artemisia species // Chemistry of Natural Compounds. 2010. Vol. 46. No. 1. Pp. 135–139.
- [12] Haider S.Z., Andola H.C., Mohan M. Constituents of *Artemisia gmelinii* Weber et Stechm. from Uttarakhand Himalaya : a source of artemisia ketone // Indian J. Pharm. Sci. 2012. Vol. 74. No. 3. Pp. 265–267.
- [13] Pandey V., Verma R.S., Chauhan A., Tiwari R. Compositional characteristics of the volatile oils of three Artemisia spp. from Western Himalaya // Journal of Essential Oil Research. 2014. Vol. 27. No. 2. Pp. 107–114.
- [14] Shrestha S., Nyaupane D.R., Yahara S., Rajbhandari M., Gewali M.B. Quality assessment of the essential oils from *Artemisia gmelinii* and *Origanum majorana* of Nepali origin // Scientific World. 2013. Vol. 11. No. 11. Pp. 77–80.
- [15] Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск : Офсет, 2008. 969 с.

- [16] Расписание погоды : архив погоды в Бичуре. URL : <https://rp5.ru> (дата обращения : 27.09.2020).
- [17] Бухарова Е.В., Намзалов Б.Б. Абрикосники Западного Забайкалья. Улан-Удэ : Изд-во Бурятского госуниверситета, 2016. 144 с.
- [18] Камелин Р.В. Флороцено типы растительности Монгольской Народной Республики // Ботанический журнал. 1987. Т. 72. № 12. С. 1580–1595.
- [19] Холбоева С.А., Намзалов Б.Б., Басхаева Т.Г. Ключевые ботанические территории степей Бурятии : критерии выделения и анализ разнообразия // Степной бюллетень. 2017. № 50. С. 1–9.
- [20] Ткачев А.В., Прокушева Д.Л., Домрачев Д.В. Дикорастущие эфирномасличные растения Южной Сибири. Новосибирск : Офсет-ТМ, 2017. 575 с.

### References

- [1] Namzalov BB. Baikal phytogeographic node as the newest center of endemism of Inner Asia. *Contemporary Problems of Ecology*. 2009;16(4):563–571. (In Russ.)
- [2] Namzalov BB. (ed.) *Buryatia: flora* (issue II). Ulan-Ude: Buryat State University Publ.; 1997. (In Russ.)
- [3] Krasheninnikov NM. Experience of phylogenetic analysis of some Eurasian groups of the genus *Artemisia* L. in connection with the peculiarities of paleogeography of Eurasia. In: *Materials on the History of Flora and Vegetation of the USSR*. 1946;(2): 87–196. (In Russ.)
- [4] Namzalov BB, Zhigzhitzhapova SV, Dubrovsky NG, Sakhyaeva AB, Radnaeva LD. Wormwood of Buryatia: analysis of diversity, ecological-geographical features and chemotaxonomy of the *Abrotanum* section. *Acta Biologica Sibirica*. 2019;5(3):178–187. (In Russ.)
- [5] Krasnoborov IM, Lomonosova MN, Tupitsyna NN, et al. *Flora of Siberia. Vol. 13. Asteraceae (Compositae)*. Novosibirsk: Nauka Publ., Sibirskoe predpriyatie RAN Publ.; 1997. (In Russ.)
- [6] *State geological map of the Russian Federation: M-48-VI (Ulan-Ude)*. 2nd edition. Selenginskaya series. Ulan-Ude: Buryatgeocenter Publ.; 2001. (In Russ.)
- [7] Vostokova EA, Gunin PD. (eds) *Ecosystems of the Selenga basin*. Moscow: Nauka Publ.; 2005. (In Russ.)
- [8] Khanina MA, Serykh EA, Pokrovsky LM, Tkachev AV. Results of a chemical study of *Artemisia gmelinii* Web. et Stechm. flora of Siberia. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2000;(3):77–84. (In Russ.)
- [9] Zhigzhitzhapova SV, Soktoeva TE, Radnaeva LD. The chemical composition of the essential oil *Artemisia gmelinii* Web. et Stechm., growing in Central Asia. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2010;(2):131–133. (In Russ.)
- [10] Ozek G, Suleimen Y, Tabanca N, Doudkin R, Gorovoy PG, Göger F, Wedge DE, Ali A, Khan IA, Baser KHC. Chemical diversity and biological activity of the volatiles of five artemisia species from Far East Russia. *Rec. Nat. Prod*. 2014;8(3):242–261.
- [11] Suleimenov EM, Tkachev AV, Adekenov SM. Essential oil from Kazakhstan artemisia species. *Chemistry of Natural Compounds*. 2010;46(1):135–139.
- [12] Haider SZ, Andola HC, Mohan M. Constituents of *Artemisia gmelinii* Weber et Stechm. from Uttarakhand Himalaya: a source of artemisia ketone. *Indian J. Pharm. Sci*. 2012; 74(3):265–267.
- [13] Pandey V, Verma RS, Chauhan A, Tiwari R. Compositional characteristics of the volatile oils of three *Artemisia* spp. from Western Himalaya. *Journal of Essential Oil Research*. 2014;27(2):107–114.
- [14] Shrestha S, Nyaupane DR, Yahara S, Rajbhandari M, Gewali MB Quality assessment of the essential oils from *Artemisia Gmelinii* and *Orifanum Majorana* of Nepali origin. *Scientific World*. 2013;11(11):77–80.

- [15] Tkachev AV. *Study of plant volatiles*. Novosibirsk: Offset Publ.; 2008. (In Russ.)
- [16] *Reliable prognosis: archive of weather in Bichura*. Available from: <https://rp5.ru> (accessed: 27.09.2020).
- [17] Bukharova EV, Namzalov BB. *Apricot forests of Western Transbaikalia*. Ulan-Ude: Buryat State University Publ.; 2016. (In Russ.)
- [18] Kamelin RV. Florocenotypes of vegetation of the Mongolian People's Republic. *Botanicheskii Zhurnal*. 1987;72(12):1580–1595. (In Russ.)
- [19] Kholboeva SA, Namzalov BB, Baskaeva TG. Key botanical territories of the steppes of Buryatia: selection criteria and analysis of diversity. *Steppe Bulletin*. 2017;(50):1–9. (In Russ.)
- [20] Tkachev AV, Prokusheva DL, Domrachev DV. *Wild growing aromatic plants of Southern Siberia*. Novosibirsk: Offset-TM Publ.; 2017. (In Russ.)

### Сведения об авторах:

*Жигжитжапова Светлана Васильевна*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория химии природных систем, Байкальский институт природопользования, Сибирское отделение Российской академии наук. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2335-0068>; eLIBRARY SPIN-код: 3130-9031. E-mail: [Zhig2@yandex.ru](mailto:Zhig2@yandex.ru)

*Холбоева Светлана Александровна*, кандидат биологических наук, доцент, кафедра ботаники, Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1300-5778>; eLIBRARY SPIN-код: 1352-2950. E-mail: [kholboeva@mail.ru](mailto:kholboeva@mail.ru)

*Дыленова Елена Петровна*, научный сотрудник, лаборатория химии природных систем, Байкальский институт природопользования, Сибирское отделение Российской академии наук. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9292-7596>; eLIBRARY SPIN-код: 4575-1399. E-mail: [edylenova@mail.ru](mailto:edylenova@mail.ru)

### Bio notes:

*Svetlana V. Zhigzhitzhapova*, Candidate of Biological Sciences, senior researcher, Laboratory of Chemistry of Natural Systems, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2335-0068>; eLIBRARY SPIN-code: 3130-9031. E-mail: [Zhig2@yandex.ru](mailto:Zhig2@yandex.ru)

*Svetlana A. Kholboeva*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Botany, Dorzhi Banzarov Buryat State University. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1300-5778>; eLIBRARY SPIN-code: 1352-2950. E-mail: [kholboeva@mail.ru](mailto:kholboeva@mail.ru)

*Elena P. Dylenova*, researcher, Laboratory of Chemistry of Natural Systems, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9292-7596>; eLIBRARY SPIN-code: 4575-1399. E-mail: [edylenova@mail.ru](mailto:edylenova@mail.ru)

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-324-335

УДК 628.316.12

Научная статья / Scientific article

## Биотестирование зоокомпоста культивирования личинок *Hermetia illucens*

Е.Н. Гончарова  , И.Р. Курзенев ,  
М.И. Василенко , Е.А. Пендюрин 

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,  
Российская Федерация, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

✉ [eleng59@rambler.ru](mailto:eleng59@rambler.ru)

**Аннотация.** Побочным продуктом производства белка из личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) является зоокомпост, состоящий из разнообразных органических соединений. Цель работы состояла в определении класса опасности зоокомпоста – отхода культивирования личинок *Hermetia illucens* – с помощью методов биотестирования, поскольку использование расчетных методов для определения класса опасности затруднительно. Экспериментальную работу проводили на тест-организмах: низших рачках *Daphnia magna*, водорослях *Chlorella vulgaris*, семенах растений овса *Avena sativa*, пшеницы *Triticum vulgare* и ячменя *Hordeum sativum*. Установлено, что зоокомпост относится к малоопасным отходам. Вытяжки зоокомпоста стимулируют рост растений *Avena sativa* и *Hordeum sativum*, предполагается его использование в качестве фитостимулятора. Показано, что возможен экологически чистый безотходный способ производства белковой добавки из насекомых.

**Ключевые слова:** зоокомпост, муха черная львинка, *Hermetia illucens*, биотестирование, *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, *Avena sativa*, *Triticum vulgare*, *Hordeum sativum*, безотходные технологии

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-070 от 29.11.2019 г.

**История статьи:** поступила в редакцию 30.07.2020; принята к публикации 25.09.2020.

**Для цитирования:** Гончарова Е.Н., Курзенев И.Р., Василенко М.И., Пендюрин Е.А. Биотестирование зоокомпоста культивирования личинок *Hermetia illucens* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 324–335. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-324-335>

## Biotesting of cultivation zoocompost of *Hermetia illucens* larvae

Elena N. Goncharova  , Ivan R. Kurzenev ,  
Marina I. Vasilenko , Evgeniy A. Pendyurin 

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov,  
46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation  
 eleng59@rambler.ru

**Abstract.** A by-product of protein production from the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) is a zoocompost consisting of a variety of organic compounds. The purpose of the work was to determine the hazard class of the zoo complex – the waste of cultivation of *Hermetia illucens* larvae using biotesting methods, since the use of calculated methods to determine the hazard class is difficult. Biotesting experiments were carried out on test organisms: planktonic crustacean *Daphnia magna*, algae *Chlorella vulgaris*, seeds of *Avena sativa*, *Triticum vulgare* and *Hordeum sativum*. It has been established that the zoocompost refers to low-risk waste. Extractions of the zoocompost stimulate the growth of plants *Avena sativa* and *Hordeum sativum*, it is supposed to be used as a phytostimulator. It has been shown that an environmentally friendly wasteless method for the production of protein additive from insects is possible.

**Keywords:** zoocompost, black soldier fly, *Hermetia illucens*, biotesting, *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, *Avena sativa*, *Triticum vulgare*, *Hordeum sativum*, non-waste technologies

**Acknowledgements and Funding.** The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement No. 075-11-2019-070 of 29.11.2019.

**Article history:** received 30.07.2020; revised 25.09.2020.

**For citation:** Goncharova EN, Kurzenev IR, Vasilenko MI, Pendyurin EA. Biotesting of cultivation zoocompost of *Hermetia illucens* larvae. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):324–335. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-324-335>

### Введение

Проблема переработки отходов в связи с развитием масштабов сельскохозяйственного производства становится все более актуальной. Государственная политика в России в области охраны окружающей среды нацелена на сохранение здоровья населения. Для реализации этого проводится работа прежде всего в области обращения с отходами, по направлениям, связанным с максимальным использованием исходных сырья и материалов для получения продуктов, предотвращением образования отходов, сокращением их образования и снижением их опасности, а также обработкой, утилизацией и обезвреживанием отходов [1].

Для решения поставленных необходимо развитие малоотходных и безотходных технологий, представляющих собой такие методы производства продукции, при которых все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно в производственном цикле, и любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее состояния [2].

Такой регионально-межотраслевой подход не является новым [3; 4], однако он до сих пор не распространен на самом производстве, чаще всего не хватает детального комплексного изучения свойств отхода и возможности управления ими для подбора наилучшей технологии его утилизации. Подобные безотходные технологии важно внедрять на вновь открываемых производствах, для чего необходимо изучение разнообразных свойств отхода, установление его класса опасности и степени влияния на окружающую среду.

В 2021 г. в Губкине (Белгородская область) планируется строительство предприятия по производству кормового белка из личинок мухи черная львинка. Проектная мощность на начальном этапе прогнозируется в 300 т муки в месяц, при этом побочным продуктом производства белковой добавки станет зоокомпост личинок.

В Российской Федерации производство альтернативного белка из насекомых пока не столь развито, как за рубежом, но уже получены первые партии готовой продукции, которую планируют использовать при кормлении рыбы и свиней [5; 6]. Чаще всего в качестве источника кормового белка компании используют насекомых как наиболее ценных производителей белка, жиров и других необходимых добавок для кормопроизводства [7].

Основным отходом, получаемым в технологическом производстве белка с помощью личинок мухи черная львинка, является так называемый зоокомпост. Этот отход биогенного происхождения содержит в своем составе чрезвычайно большое количество веществ, в основном органического происхождения (целлюлоза, аминокислоты, жирные кислоты и др.), кроме того, в его состав входят и неорганические соединения (соли аммония, нитраты и др.). Для определения класса опасности подобного вида отходов весьма трудно использовать расчетные методы, поэтому основной путь установления имеющейся потенциальной опасности – проведение экотоксикологического исследования с помощью живых организмов и последующего наблюдения за ними.

Цель исследования – провести эколого-токсикологическую оценку отхода, образующегося в результате получения белка с помощью выращивания личинок мухи *Hermetia illucens*, а именно – определить класс опасности вышеупомянутого отхода (зоокомпоста) методами биотестирования.

Биотестирование является экспериментальным методом, позволяющим установить степень возможного вредного воздействия отходов на окружающую природную среду при непосредственном или опосредованном воздействии на нее [8]. Данный метод является обязательным для отнесения отходов к практически неопасным для окружающей среды. Экспериментальное определение класса опасности отходов заключается в лабораторном исследовании токсичности отходов на организмах, наиболее чувствительных к воздействию определенных токсикантов. Для этого используют не менее двух живых организмов, относящихся к различным систематическим группам. Установление класса опасности отходов осуществляется в соответствии с законодательством РФ [9].

## Материалы и методы

Объект исследования – зоокомпост, который является отходом производства кормового белка с помощью мухи *Hermetia illucens*.

Биотестирование водных вытяжек отходов выполнялось в ходе кратковременных экспериментов, которые проводили на пяти тест-организмах: дафниях, хлорелле и трех злаковых растениях – овсе, пшенице и ячмене. Экспериментальное исследование проводилось на большем количестве видов живых организмов, что требуется согласно методике [9], с включением в состав тест-организмов растения, поскольку предполагается в дальнейшем использовать исследуемый отход в качестве удобрения или составной части комплексного удобрения.

В соответствии с общепринятыми методиками класс опасности устанавливали по коэффициенту разведения водной вытяжки, при которой не выявлено вредного влияния на тест-объекты.

## Результаты и их обсуждение

**Проведение эксперимента на дафниях.** Для исследований токсичности зоокомпоста использовали вид низших ракообразных *Daphnia magna* Str. Дафнии являются основными тест-организмами, которые используются при установлении токсичности различных объектов в окружающей среде. Экспериментальные исследования с их участием, проводимые в странах Европы и США, имеют практически одинаковый методический подход.

Выращивание культуры дафний производили согласно методике [10]. Эксперименты на дафниях требуют однородности популяции особей, поэтому необходимо выполнять все условия их разведения и содержания, для этого использовали климатостат ВЗ. В качестве культиваторов применяли кристаллизаторы объемом 2–5 дм<sup>3</sup>, которые наполняли на 3/4 объема культивационной водой. Плотность содержания особей составляла до 25 шт/дм<sup>3</sup>. Чувствительность дафний контролировали по бихромату калия. Длительность проведения эксперимента – 48 ч.

Основным показателем токсичности отходов в остром эксперименте на дафниях является коэффициент разбавления их водных вытяжек, вызывающих гибель не более 10 % дафний за 48 ч наблюдения. Рассчитывали процент погибших в результате проведенных экспериментов дафний (А, %) по сравнению с контролем (табл. 1).

**Результаты проведения эксперимента на *Daphnia magna*.** В соответствии с методикой [10] были приготовлены серии разбавлений в трех параллелях. Вытяжка зоокомпоста с кратностью разведения 1:10 имела значение рН = 7,48, что соответствует требованию оптимальных условия для развития дафний. В табл. 1 представлены данные, полученные после 48 ч эксперимента.

В результате проведенных экспериментов установлена кратность разведения вытяжек зоокомпоста (равна 10), при которых не наблюдается гибель дафний, следовательно, исследуемый отход можно отнести к 4-му классу опасности.

Таблица 1

**Результаты биотестирования водной вытяжки зоокомпоста  
на тест-объекте *Daphnia magna* Straus**

Объект	Кратность разведения пробы	Количество выживших дафний				Показатель токсичности $\delta$ , %	A, %	Класс опасности
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>cp</sub>			
Зоокомпост	1	3	4	4	3,7	63	37	IV
	10	10	10	10	10	0	0	
Контроль		10	10	10	10	0	0	

Table 1

**Results of biotesting of water zoocompost extract on the test object *Daphnia magna* Straus**

Object	Sample dilution factor	Number of live <i>Daphnia magna</i>				Toxicity index $\delta$ , %	A, %	Hazard class
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>cp</sub>			
Zoocompost	1	3	4	4	3.7	63	37	IV
	10	10	10	10	10	0	0	
Control		10	10	10	10	0	0	

**Проведение эксперимента на зеленых одноклеточных водорослях.**

В качестве другого объекта биотестирования зоокомпоста использовали культуру *Chlorella vulgaris* Beijer. Методика основана на регистрации изменения численности водоросли в различных вытяжках отхода по сравнению с контрольной средой, содержащей питательные вещества для их роста (среда Тамия) [11]. Численность одноклеточных водорослей учитывают с помощью прямого счета водорослей под микроскопом или определения оптической плотности (флуоресценции) водорослей. Критерием токсичности вытяжек отхода в данном эксперименте является снижение на 20 % и более величины оптической плотности или их увеличение на 30 % и более в течение 22 ч в растворах по сравнению с контролем. Выращивание культуры водоросли производили в культиваторе КВ-05. Водоросли выращивали на питательной среде Тамия, для ее приготовления использовали дистиллированную воду и растворы солей. В качестве тест-организма использовали штамм одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer.

Для проведения токсикологического эксперимента использовали культуру водорослей хлореллы, находящуюся в экспоненциальной стадии роста. В этом случае концентрация клеток должна быть около  $3 \cdot 10^4$  кл/мл, кроме того, необходимо, чтобы не менее 90 % клеток было живыми (проверка осуществлялась окраской витальными красителями). Периодически, так же как и в случае культуры дафний, проверяли чувствительность культуры хлореллы к бихромату калия.

**Результаты проведения эксперимента на *Chlorella vulgaris*.** В табл. 2 представлены данные проведенных экспериментов на зеленых одноклеточных водорослях после 22 ч наблюдения.

В результате установлено, что при кратности разведения вытяжки отхода, равной 10, суспензии водорослей имеют такую же оптическую плотность, что и в случае контроля. Следовательно, в соответствии с методикой

установления класса опасности отхода [9], зоокомпост, как и в случае с экспериментами на дафниях, относится к 4-му классу опасности – малоопасным отходам.

Таблица 2

**Результаты проведенных экспериментов  
на водных вытяжках зоокомпоста на *Chlorella vulgaris***

Объект	Кратность разведения пробы	Значение оптической плотности					I, %	Класс опасности
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>ср</sub>		
Зоокомпост	1	0,071	0,068	0,069	0,068	0,069	46,9	IV
	10	0,128	0,122	0,126	0,125	0,125	3,7	
Контроль		0,130	0,131	0,130	0,129	0,130	0	

Table 2

**Results of biotesting of water zoocompost extract on the test object *Chlorella vulgaris***

Object	Sample dilution factor	Optical density value					I, %	Hazard class
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>ср</sub>		
Zoocompost	1	0.071	0.068	0.069	0.068	0.069	46.9	IV
	10	0.128	0.122	0.126	0.125	0.125	3.7	
Control		0.130	0.131	0.130	0.129	0.130	0	

**Проведение эксперимента на растениях.** Экспериментальное исследование проводили на трех видах злаковых растений, поскольку в дальнейшем планируется использовать исследуемый отход в качестве удобрительного материала. Фитотестирование проводилось на семенах овса, пшеницы и ячменя, тест-функцией в данных экспериментах является длина корней в вытяжках отхода по сравнению с контролем (водой) [8]. Считали, что имеется токсический эффект действия вытяжек отхода, если наблюдали эффект угнетения более 20 %.

**Результаты проведения эксперимента на растениях.** Результаты биотестирования вытяжки зоокомпоста приведены в табл. 3, а внешний вид растений на рис. 1–4.

В соответствии с методикой также рассчитывали эффект воздействия водных вытяжек отхода на семена вышеназванных растений. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что вытяжки исследуемого отхода не оказывают вредного воздействия во всем исследованном интервале разбавлений. Наоборот, на *Avena sativa* (овес посевной) вытяжки отхода с коэффициентом разведения, равным 10–100, оказывают стимулирующее действие – до 70 %, на *Hordeum sativum* (ячмень посевной) – до 53 %, лишь для *Triticum vulgare* (пшеница обыкновенная) стимулирующий эффект не обнаружен, но не наблюдали и эффект угнетения роста. Следовательно, данный вид зоокомпоста, по крайней мере, относится к малоопасным отходам для окружающей среды. Следует отметить, что на корни овса водная вытяжка с разведением 1/10 оказывает стимулирующее действие на 54 %, а в случае 1/100 на 69 %. Вытяжка зоокомпоста с разведением 1/100

также приводит к увеличению длины корней *Hordeum sativum*, эффект в этом случае равен 53 %. Обнаружено стимулирующее воздействие вытяжек отхода на длину проростков (рис. 1–4). Данные эксперимента по влиянию вытяжек зоокомпоста на длину растений не приведены, поскольку по методике проведения эксперимента это не требуется.

Таблица 3

## Результаты биотестирования водных вытяжек зоокомпоста с помощью злаковых растений

Коэффициент разведения водной вытяжки отхода	Длина корней растений, см		
	<i>Avena sativa</i> (овес)	<i>Triticum vulgare</i> (пшеница)	<i>Hordeum sativum</i> (ячмень)
Контроль	6,5 ± 0,2	9,5 ± 0,2	8,5 ± 0,2
1:1	15,4 ± 0,4	9 ± 0,4	10 ± 0,6
1:10	10 ± 0,5	8 ± 0,6	9 ± 0,4
1:100	11 ± 0,5	10 ± 0,5	13 ± 0,9

Table 3

## Results of biotesting of water extracts of zoocompost with the help of cereal plants

Sample dilution factor of water extract of zoocompost	Plant root lengths, cm		
	<i>Avena sativa</i> (oats)	<i>Triticum vulgare</i> (wheat)	<i>Hordeum sativum</i> (barley)
Control	6.5 ± 0.2	9.5 ± 0.2	8.5 ± 0.2
1:1	15.4 ± 0.4	9 ± 0.4	10 ± 0.6
1:10	10 ± 0.5	8 ± 0.6	9 ± 0.4
1:100	11 ± 0.5	10 ± 0.5	13 ± 0.9



а



б



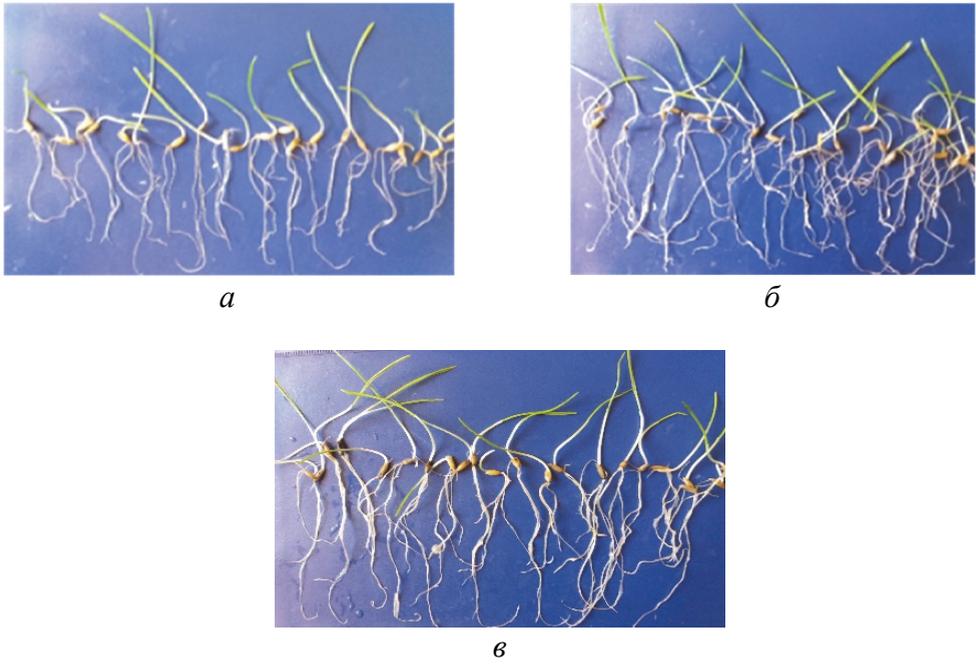
в

Рис. 1. Злаковые растения, контроль:

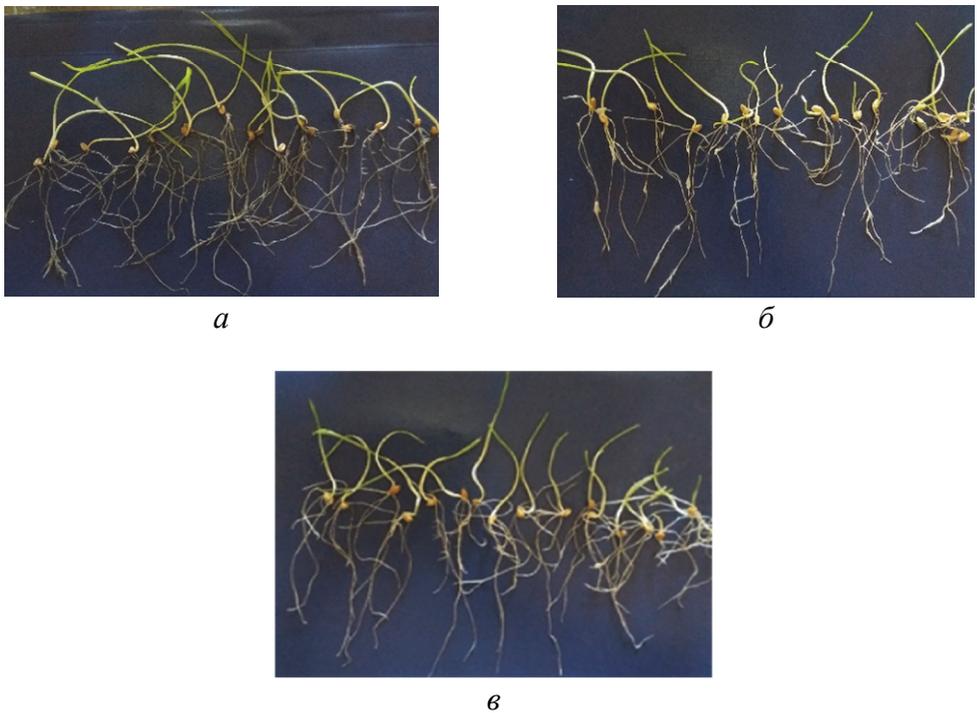
а – *Avena sativa*; б – *Triticum vulgare*; в – *Hordeum sativum*

Figure 1. Cereal plants, control:

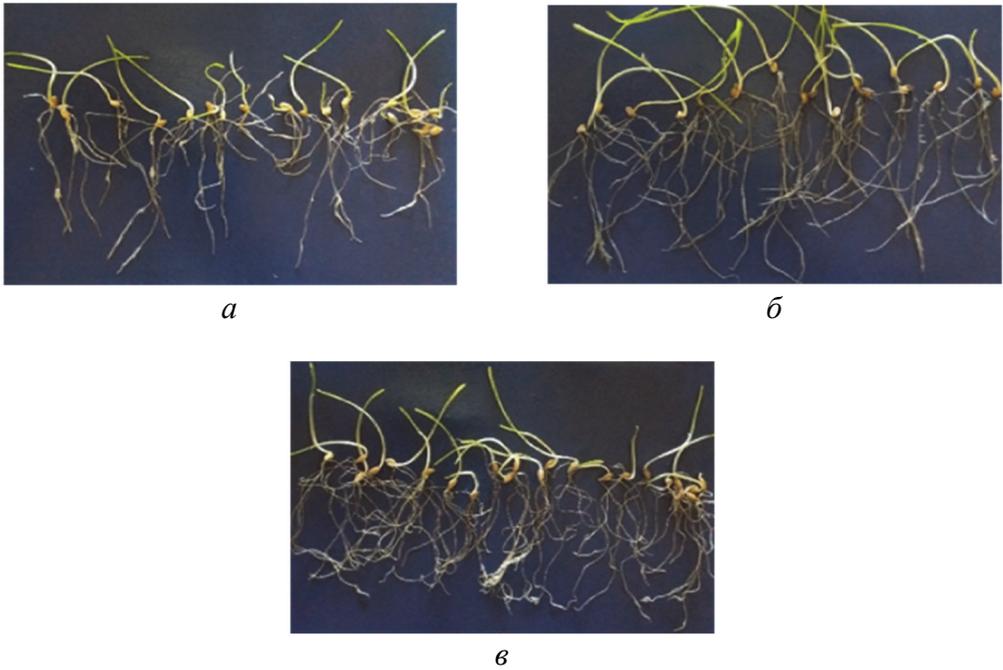
а – *Avena sativa*; б – *Triticum vulgare*; в – *Hordeum sativum*



**Рис. 2.** *Avena sativa*, коэффициент разведения водной вытяжки:  
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100  
**Figure 2.** *Avena sativa*, sample dilution factor of water extract:  
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100



**Рис. 3.** *Triticum vulgare*, коэффициент разведения водной вытяжки:  
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100  
**Figure 3.** *Triticum vulgare*, sample dilution factor of water extract:  
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100



**Рис. 4.** *Hordeum sativum*, коэффициент разведения водной вытяжки:  
 а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100  
**Figure 4.** *Hordeum sativum*, sample dilution factor of water extract:  
 а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100

Таблица 4

**Эффект воздействия водных вытяжек зоокомпоста на семена растений**

Коэффициент разведения водной вытяжки отхода	Эффект воздействия, %		
	<i>Avena sativa</i> (овес)	<i>Triticum vulgare</i> (пшеница)	<i>Hordeum sativum</i> (ячмень)
1:1	+15	-5	+18
1:10	+54	-16	+6
1:100	+69	+5	+53

Table 4

**Effect of water extracts of the zoo compost on seeds of the plants**

Sample dilution factor of water extract of zoocompost	Effect, %		
	<i>Avena sativa</i> (oats)	<i>Triticum vulgare</i> (wheat)	<i>Hordeum sativum</i> (barley)
1:1	+15	-5	+18
1:10	+54	-16	+6
1:100	+69	+5	+53

Отметим, что нахождение в окружающей среде подобного рода отходов все же может быть опасным, поскольку имеется вероятность загрязнения солями аммония и нитратами. В случае попадания в водоемы эти вещества вызовут бурный рост водорослей, что ухудшит качество воды, а также изменит состав популяций гидробионтов, и в итоге приведет к изменению экосистемы, нанеся существенный ущерб окружающей среде.

## Заключение

В результате проведенной экспериментальной работы по биотестированию можно сделать вывод, что к зоокомпосту – отходу культивирования личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) более чувствительны *Daphnia magna* и *Chlorella vulgaris*.

На все исследованные растения вытяжка зоокомпоста не оказывает угнетающего эффекта, а для *Avena sativa* и *Hordeum sativum*, наоборот, стимулирует рост. Хранение отхода культивирования личинок мухи необходимо осуществлять в контролируемых условиях. В дальнейшем необходимо провести работу по утилизации данного вида отхода.

Эколого-токсикологическое исследование подтвердило, что зоокомпост культивирования личинок мухи черная львинка относится к малоопасным отходам для окружающей среды и допустим для использования в качестве удобрительного материала в растениеводстве. Применение зоокомпоста как удобрения может сделать процесс получения белка с помощью личинок *Hermetia illucens* безотходным и тем самым наиболее экономно расходовать природные ресурсы и наносить наименьший ущерб окружающей среде.

## Список литературы

- [1] Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция). URL : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (дата обращения : 26.06.2020).
- [2] Тарасова Н.П., Зайцев В.А., Кузнецов В.А. Безотходные, чистые и зеленые технологии // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28. № 4 (153). С. 19–22.
- [3] Кухарь В.П., Зайцев И.Д., Сухоруков Г.А. Экологическая технология. Оптимизация технологии производства и природопользования. Киев : Наукова думка, 1989. 264 с.
- [4] Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П. и др. Проблемы развития безотходных производств. М. : Стройиздат, 1981. 207 с.
- [5] Ушакова Н.А., Некрасов Р.В., Правдин В.Г. и др. Новое поколение пробиотических препаратов кормового назначения // Scientific Reviews. 2012. № 1. С. 184–192.
- [6] Некрасов Р.В., Чабаяев М.Г., Зеленченкова А.А. и др. Питательные свойства личинок *Hermetia illucens* L. – нового кормового продукта для молодняка свиней // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 2. С. 316–325.
- [7] ФАО : Насекомые – отличный источник белков и витаминов // Продмаг. 2013. 13 мая. URL : <http://prodmagazin.ru/2013/05/13/fao-nasekomyie-otlichnyiy-istochnik-belkov-i-vitaminov/> (дата обращения : 26.06.2020).
- [8] Биологический контроль окружающей среды : биоиндикация и биотестирование / под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Сарапульцевой. М. : Академия, 2008. 288 с.
- [9] Приказ МПР РФ от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду». М., 2014. 14 с.
- [10] ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний. М. : Акварос, 2007. 51 с.
- [11] ФР.1.39.2007.03223. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М. : Акварос, 2007. 47 с.

## References

- [1] *Federal Law “On Production and Consumption Waste” dated 24.06.1998 No. 89-FZ (latest edition)*. (In Russ.) Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (accessed: 26.06.2020).
- [2] Tarasova NP, Zajcev VA, Kuznecov VA. Waste-free, clean and green technologies. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2014;28(4(153)):19–22. (In Russ.)
- [3] Kuhar VP, Zajcev ID, Suhorukov GA. *Ecotechnology. Optimization of production technology and environmental management*. Kiev: Naukova Dumka Publ.; 1989. (In Russ.)
- [4] Laskorin BN, Gromov BV, Cygankov AP, et al. *Problems of development of waste-free production*. Moscow: Strojizdat Publ.; 1981. (In Russ.)
- [5] Ushakova NA, Nekrasov RV, Pravdin VG, et al. A new generation of probiotic preparations for feed purposes. *Scientific Reviews*. 2012;(1):184–192. (In Russ.)
- [6] Nekrasov RV, Chabaev MG, Zelenchenkova AA, et al. Nutritional properties of the larvae of *Hermetia illucens* L. – a new feed product for young pigs. *Agricultural Biology*. 2019;54(2):316–325. (In Russ.)
- [7] FAO: Insects are an excellent source of proteins and vitamins. *Prodmag*. 2013. (In Russ.) Available from: <http://prodmagazin.ru/2013/05/13/fao-nasekomyie-otlichnyiy-istochnik-belkov-i-vitaminov/> (accessed: 26.06.2020).
- [8] Melekhova OP, Sarapulceva EI. (eds.) *Biological control of the environment: bioindication and biotesting*. Moscow: Akademiya Publ.; 2008. (In Russ.)
- [9] *Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 04.12.2014 No. 536 “On approval of the criteria for classifying waste to I–V hazard classes according to the degree of negative impact on the environment”*. Moscow; 2014. (In Russ.)
- [10] FR.1.39.2007.03222. *Methods for determining the toxicity of water and water extracts from soils, sewage sludge, waste by mortality and changes in fertility of daphnia*. Moscow: Akvaros Publ.; 2007. (In Russ.)
- [11] FR.1.39.2007.03223. *Methods for determining the toxicity of waters, water extracts from soils, sewage sludge and waste by changing the level of chlorophyll fluorescence and the number of algal cells*. Moscow: Akvaros Publ.; 2007. (In Russ.)

### Сведения об авторах:

*Гончарова Елена Николаевна*, кандидат биологических наук, доцент, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2442-1742>; eLIBRARY SPIN-код: 4233-9699. E-mail: [eleng59@rambler.ru](mailto:eleng59@rambler.ru)

*Курзнев Иван Романович*, магистрант, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2975-8152>; eLIBRARY SPIN-код: 8755-7261. E-mail: [spandwaryandex@gmail.com](mailto:spandwaryandex@gmail.com)

*Василенко Марина Ивановна*, кандидат биологических наук, доцент, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-B203-8325>; eLIBRARY SPIN-код: 1840-2852. E-mail: [vasilemn@mail.ru](mailto:vasilemn@mail.ru)

*Пендюрин Евгений Александрович*, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4826-3654>; eLIBRARY SPIN-код: 1507-2474. E-mail: [pendyrinea@yandex.ru](mailto:pendyrinea@yandex.ru)

**Bio notes:**

*Elena N. Goncharova*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2442-1742>; eLIBRARY SPIN-code: 4233-9699. E-mail: [eleng59@rambler.ru](mailto:eleng59@rambler.ru)

*Ivan R. Kurzenev*, master student, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2975-8152>; eLIBRARY SPIN-code: 8755-7261. E-mail: [spandwaryandex@gmail.com](mailto:spandwaryandex@gmail.com)

*Marina I. Vasilenko*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-B203-8325>; eLIBRARY SPIN-code: 1840-2852. E-mail: [vasilemn@mail.ru](mailto:vasilemn@mail.ru)

*Evgeniy A. Pendyurin*, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4826-3654>; eLIBRARY SPIN-code: 1507-2474. E-mail: [pendyrinea@yandex.ru](mailto:pendyrinea@yandex.ru)

ГЕОЭКОЛОГИЯ  
GEOECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348

УДК 614.76

Научная статья / Scientific article

**Изменение фитотоксичности почв,  
загрязненных нефтепродуктами,  
в процессе их микробиологической ремедиации  
при внесении гуминовых препаратов**

А.С. Чердакова✉, С.В. Гальченко

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,  
Российская Федерация, 390000, Рязань, ул. Свободы, д. 46*✉ [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)

**Аннотация.** Приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами различных фракций (бензин, дизельное топливо, мазут), в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов. Исследования осуществлялись в условиях вегетационного эксперимента, в котором моделировались процессы биоремедиации почв, загрязненных различными нефтепродуктами, с применением микробиодеструкторов и гуминовых препаратов («Экорост» и «Гуми»). Установлено, что биоремедиационные мероприятия с использованием микробиодеструкторов не позволяют осуществить полную детоксикацию почвы, загрязненной различными нефтепродуктами. Выявлено проявление гуминовыми препаратами детоксифицирующих свойств в отношении нефтеуглеводородного загрязнения почв при их биоремедиации. Выраженность этих свойств варьирует и зависит от типа нефтепродукта-загрязнителя, его концентрации, а также от свойств самих препаратов.

**Ключевые слова:** загрязнение почвы, нефтепродукты, биоремедиация, микробиодеструкторы, фитотоксичность, гуминовые препараты

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Рязанской области № 18-45-623003 р\_мол\_а «Исследование влияния биоПАВ на основе гуминовых веществ на процессы микробиологической ремедиации природных сред, загрязненных нефтепродуктами».

**История статьи:** поступила в редакцию 03.08.2020; принята к публикации 10.10.2020.

**Для цитирования:** Чердакова А.С., Гальченко С.В. Изменение фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации

при внесении гуминовых препаратов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 336–348. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348>

## Change of phytotoxicity of soils contaminated with oil products in the process of their microbiological remediation during the application of humic preparations

Alina S. Cherdakova✉, Svetlana V. Galchenko

Ryazan State University named for S. Yesenin,  
46 Svobody St, Ryazan, 390000, Russian Federation  
✉ [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies on the assessment of the phytotoxicity of soils contaminated with oil products of various fractions (gasoline, diesel fuel, fuel oil) in the process of their microbiological remediation with the introduction of humic preparations. The studies were carried out under the conditions of a vegetation experiment, in which the processes of bioremediation of soils contaminated with various oil products were simulated using microbiodestructors and humic preparations (“Ekorost” and “Gumi”). It has been established that the implementation of bioremediation measures using microbiodestructors does not allow for complete detoxification of soil contaminated with various oil products. The manifestation of detoxifying properties of humic preparations in relation to oil-hydrocarbon pollution of soils during their bioremediation was revealed. The severity of these properties varies and depends on the type of oil-polluting product, its concentration, as well as on the properties of the preparations themselves.

**Keywords:** soil pollution, petroleum products, bioremediation, microbiodestructors, phytotoxicity, humic preparations

**Acknowledgements and Funding.** This work was supported by a grant from the RFBR and the Government of the Ryazan Region No. 18-45-623003 r\_mol\_a “Investigation of the effect of biosurfactants based on humic substances on the processes of microbiological remediation of natural environments contaminated with oil products”.

**Article history:** received 03.08.2020; revised 10.10.2020.

**For citation:** Cherdakova AS, Galchenko SV. Change of phytotoxicity of soils contaminated with oil products in the process of their microbiological remediation during the application of humic preparations. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):336–348. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348>

### Введение

Растущие объемы добычи нефти, производства и использования нефтепродуктов, техногенные аварии при эксплуатации трубопроводов, промышленных объектов и транспорта приводят к масштабному углеводородному загрязнению всех компонентов окружающей среды, в том числе и почв. Самоочищение загрязненных нефтеуглеводородами почв является сложнейшим, многофакторным процессом и происходит крайне медленно. Значительно сокращают время восстановления почв микробиологические нефтеокисляю-

щие ремедиаторы [1–5]. Но зачастую активность вносимых в почву микробиоремедиаторов ограничивают такие факторы, как высокие уровни загрязнения, низкое содержание элементов питания, повышенная кислотность почвенного раствора и др. В этой связи возникает необходимость научного поиска способов стимуляции деятельности нефтеокисляющей микрофлоры и детоксикации нефтезагрязненных почв. Считаем, что для решения данной задачи необходимо рассмотреть гуминовые вещества и промышленные препараты на их основе, которые проявляют поверхностно-активные свойства, снижают поверхностное натяжение и препятствуют коалесценции капель на границе фаз «нефть – вода», увеличивая площадь активного взаимодействия микроорганизмов с питательным субстратом [6–10].

Гуминовые вещества обладают выраженными детоксифицирующими свойствами по отношению к нефтеуглеводородному загрязнению, а также могут служить источником крайне необходимых для нефтеокисляющих микроорганизмов биогенных элементов (азот, фосфор и др.) и положительно влияют на важные для их функционирования свойства очищаемых почв (рН, окислительно-восстановительные условия и др.). Тем самым гуминовые вещества способствуют формированию благоприятных условий для «работы» микробиоремедиаторов [7–11].

*Целью работы* являлась оценка изменения фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов.

### Материалы и методы

Исследования по реализации указанной цели осуществлялись в условиях вегетационного эксперимента, в котором моделировались процессы биоремедиации почв, загрязненных различными нефтепродуктами, с применением микробиодеструкторов и гуминовых препаратов. Для закладки эксперимента использовались образцы серой лесной почвы, отобранные в экологически чистом районе, с участка, неподверженного прямому техногенному воздействию, с глубины гумусового горизонта по общепринятой методике в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01–2017 [12].

Моделирование нефтеуглеводородного загрязнения осуществлялось путем внесения в серую лесную почву наиболее распространенных нефтепродуктов-загрязнителей – бензина АИ-95, дизельного топлива и мазута в количестве 50 и 100 г/кг (содержание нефтепродуктов равно 5 и 10 % соответственно). В качестве источника нефтеокисляющих микроорганизмов применялся биопрепарат «Дестройл», представляющий собой культуру штамма *Acinetobacter species JN-2* – неспоровые, неподвижные, грамотрицательные бактерии, обладающие высокой способностью к биодеструкции нефтяных углеводородов. Биопрепарат «Дестройл» применяли во всех вариантах опыта в виде суспензии, приготовленной согласно инструкции производителя.

В эксперименте использовались промышленные гуминовые препараты, различные по своему агрегатному состоянию, источникам и технологии получения, характеристика которых представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Основные характеристики экспериментальных гуминовых препаратов\***

Показатели	Наименование препарата	
	«Экорост»	«Гуми»
Агрегатное состояние	Жидкое (раствор)	Твердое (порошок для приготовления суспензии)
Сырье	Низинный торф	Бурый уголь
Технология получения	Гидродинамическая кавитация	Щелочная экстракция
рН, ед. рН	7,3	8,5
Сумма гуминовых и фульвовых кислот, г/л	70,0	60,0
Азот общий, г/л	2,8	5,0
Калий общий, г/л	5,8	10,0
Фосфор общий, г/л	0,01	5,0

Примечание: \* – по данным производителя.

Table 1

**Basic characteristics of experimental humic preparations\***

Indicators	Preparation name	
	“Ekorost”	“Gumi”
State of aggregation	Liquid (solution)	Solid (powder for suspension preparation)
Raw material	Low-lying peat	Brown coal
Production technology	Hydrodynamic cavitation	Alkaline extraction
рН	7.3	8.5
The sum of humic and fulvic acids, g/l	70.0	60.0
Total nitrogen, g/l	2.8	5.0
Total potassium, g/l	5.8	10.0
Total phosphorus, g/l	0.01	5.0

Source: \* – according to the manufacturer.

Указанные гуминовые препараты вносили в подготовленную описанным образом почву в концентрации 0,01 % водного раствора. Выбор концентрации препаратов основывался как на данных источников научной литературы [6; 7; 13], так и на результатах собственных, проведенных ранее исследований.

Контролем в эксперименте служили загрязненные нефтепродуктами и обработанные микробиопрепаратом образцы серой лесной почвы без внесения гуминовых препаратов. Таким образом, схема эксперимента включала варианты, представленные в табл. 2.

Экспериментальная оценка изменения фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их биоремедиации при внесении гуминовых препаратов производилась методом биотестирования по ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [14]. В качестве тест-культур использовались овес посевной (*Avena sativa* L.) и редька масличная (*Brassica rapa* L.) [14]. Критериями оценки фитотоксичности анализируемых почвенных образцов служили количество проросших семян, длина зародышевого стебелька и средняя длина зародышевых корней (корешков).

Таблица 2

## Схема модельного эксперимента

№ п/п	Вариант эксперимента	Краткое условное обозначение
<b>Экспериментальная линия с почвой, загрязненной бензином</b>		
1.	Серая лесная почва + бензин 50 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КБ50
2.	Серая лесная почва + бензин 100 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КБ100
3.	Серая лесная почва + бензин 50 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭБ50
4.	Серая лесная почва + бензин 100 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭБ100
5.	Серая лесная почва + бензин 50 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГБ50
6.	Серая лесная почва + бензин 100 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГБ100
<b>Экспериментальная линия с почвой, загрязненной дизельным топливом</b>		
7.	Серая лесная почва + дизельное топливо 50 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КД50
8.	Серая лесная почва + дизельное топливо 100 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КД100
9.	Серая лесная почва + дизельное топливо 50 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭД50
10.	Серая лесная почва + дизельное топливо 100 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭД100
11.	Серая лесная почва + дизельное топливо 50 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГД50
12.	Серая лесная почва + дизельное топливо 100 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГД100
<b>Экспериментальная линия с почвой, загрязненной мазутом</b>		
13.	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КМ50
14.	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КМ100
15.	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭМ50
16.	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭМ100
17.	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГМ50
18.	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГМ100

Table 2

## Model experiment scheme

No.	Experiment variant	Short designation
<b>Experimental line with soil contaminated with benzine</b>		
1.	Gray forest soil + benzine 50 g/kg + "Destroil" (control)	CB50
2.	Gray forest soil + benzine 100 g/kg + "Destroil" (control)	CB100
3.	Gray forest soil + benzine 50 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EB50
4.	Gray forest soil + benzine 100 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EB100
5.	Gray forest soil + benzine 50 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GB50
6.	Gray forest soil + benzine 100 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GB100
<b>Experimental line with diesel contaminated soil</b>		
7.	Gray forest soil + diesel fuel 50 g/kg + "Destroil" (control)	CD50
8.	Gray forest soil + diesel fuel 100 g/kg + "Destroil" (control)	CD100
9.	Gray forest soil + diesel fuel 50 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	ED50
10.	Gray forest soil + diesel fuel 100 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	ED100
11.	Gray forest soil + diesel fuel 50 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GD50
12.	Gray forest soil + diesel fuel 100 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GD100
<b>Experimental line with soil contaminated with masut</b>		
13.	Gray forest soil + masut 50 g/kg + "Destroil" (control)	CM50
14.	Gray forest soil + masut 100 g/kg + "Destroil" (control)	CM100
15.	Gray forest soil + masut 50 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EM50
16.	Gray forest soil + masut 100 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EM100
17.	Gray forest soil + masut 50 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GM50
18.	Gray forest soil + masut 100 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GM100

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных проводилась с использованием приложения Microsoft Office Excel и программного пакета Statistica.

### Результаты и их обсуждение

Прежде чем оценить детоксицирующие свойства гуминовых препаратов по отношению к нефтеуглеводородному загрязнению почв, была проанализирована фитотоксичность контрольных вариантов опыта (без внесения гуминовых препаратов) по сравнению с незагрязненной нефтепродуктами почвой (серая лесная почва без внесения нефтепродуктов, микробиодеструкторов и гуминовых препаратов – далее фоновый контроль). Такое построение исследований обусловлено необходимостью оценки результативности детоксикации загрязненных почв после проведенной биоремедиации без стимулирования гуминовыми препаратами. К концу эксперимента на контрольных вариантах с внесением бензина он был практически полностью подвержен деструкции и содержался в почве лишь в небольших количествах, ввиду чего на данном этапе исследований указанные образцы не анализировались.

Полученные результаты показали, что почва контрольных вариантов эксперимента оказывает выраженный фитотоксический эффект по сравнению с незагрязненной нефтепродуктами почвой по всем критериям оценки.

Зависимость фитотоксического эффекта загрязненных почв, как от типа нефтепродукта, так и от его концентрации, весьма отчетливо отражает показатель всхожести семян тест-культур (рис. 1).

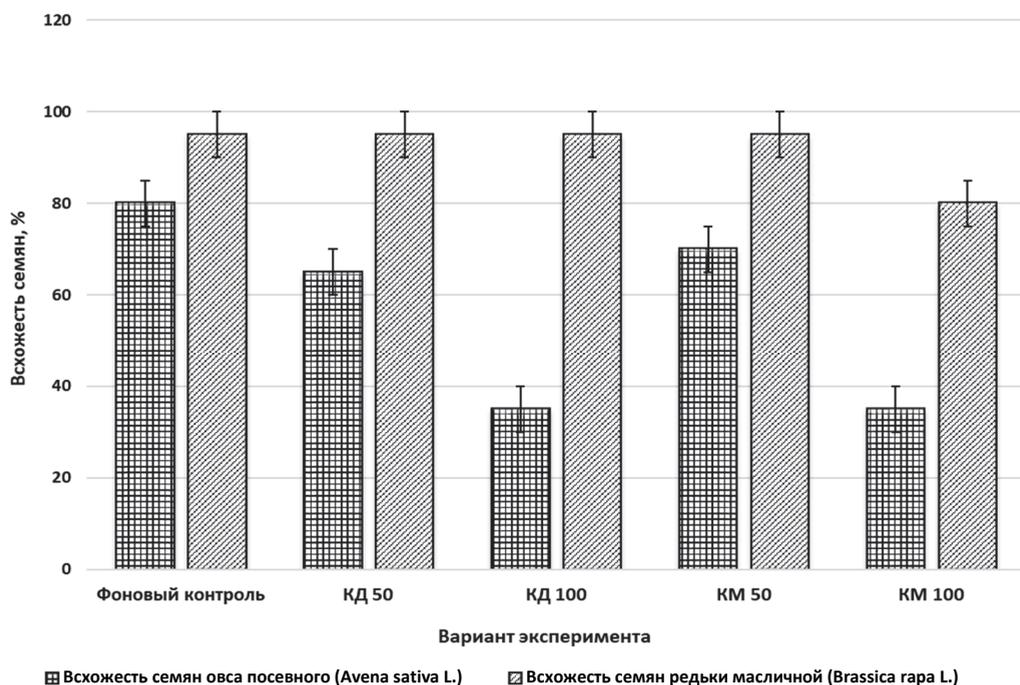
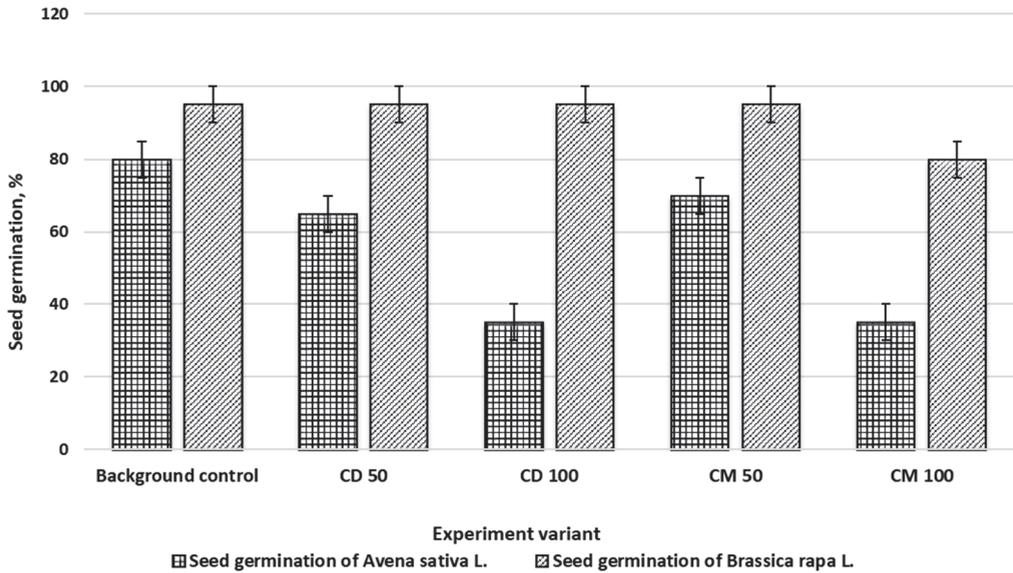


Рис. 1. Изменение всхожести семян тест-культур в эксперименте



**Figure 1.** Change in seed germination of test cultures in the experiment

Наиболее отчетливое ингибирующее влияние нефтеуглеводородного загрязнения почвы на процессы прорастания семян отмечено в отношении овса посевного (*Avena sativa* L.). При этом дизельное топливо и мазут оказали примерно одинаковый фитотоксический эффект на тест-культуру. Однако в эксперименте была заметна отчетливая тенденция снижения всхожести семян с ростом концентрации нефтепродуктов в почве, что характерно и для дизельного топлива, и для мазута. Так, на вариантах с внесением в почву токсикантов в количестве 100 г/кг, всхожесть семян была почти в два раза ниже, чем на вариантах с концентрацией загрязнителя 50 г/кг. В данном случае определяющую роль в токсичном влиянии загрязненной нефтепродуктами почвы сыграла концентрация загрязнителя, а не его индивидуальные свойства.

В отношении редьки масличной (*Brassica rapa* L.) фитотоксичность проявили только образцы почвы, загрязненные мазутом. Наиболее выраженное угнетение всхожести семян данной тест-культуры регистрировалось при концентрации 100 г/кг мазута в почве.

Все другие используемые для оценки фитотоксичности критерии также показали существенное ингибирование ростовых процессов тест-культур при загрязнении почвы нефтепродуктами (рис. 2).

Так, во всех вариантах эксперимента с внесением нефтепродуктов даже после окончания процесса биоремедиации почвы не удалось полностью ее детоксифицировать.

По критерию изменения длины зародышевого стебелька редька масличная (*Brassica rapa* L.) оказалась более чувствительна к токсичному действию загрязнителей. Даже при минимальной экспериментальной дозе нефтепродуктов в 50 г/кг длина зародышевого стебелька сократилась в среднем на 62 % при загрязнении почвы мазутом и на 72 % при загрязнении дизельным

топливом. В вариантах эксперимента с внесением 100 г/кг мазута в почву снижение данного показателя по сравнению с незагрязненной почвой было максимальным и составило практически 90 %.

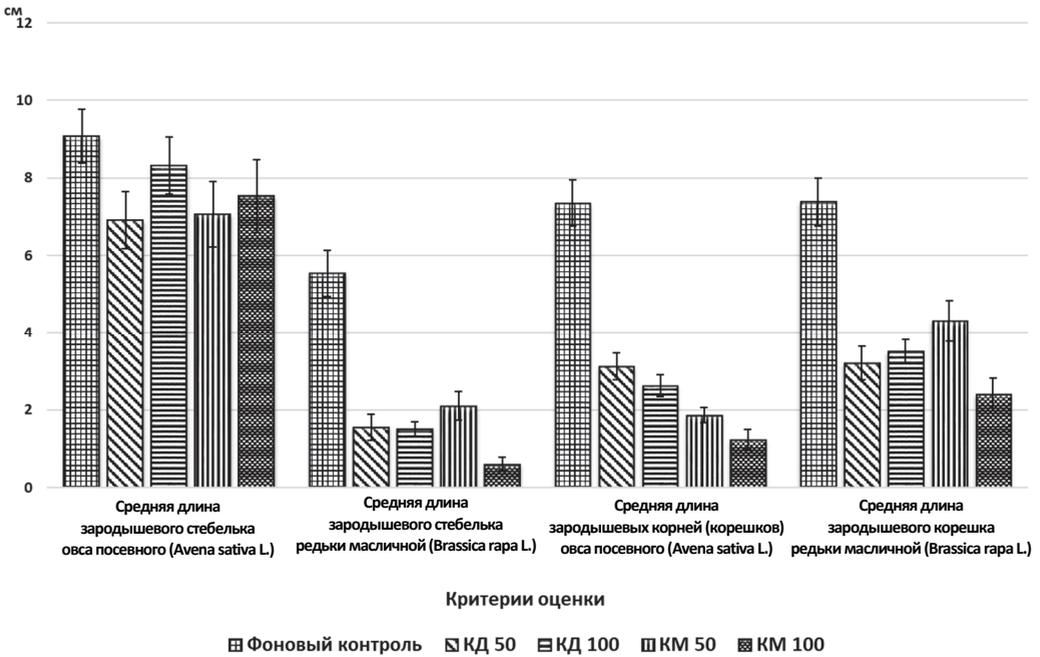


Рис. 2. Изменение показателей ростовых процессов тест-культур в эксперименте

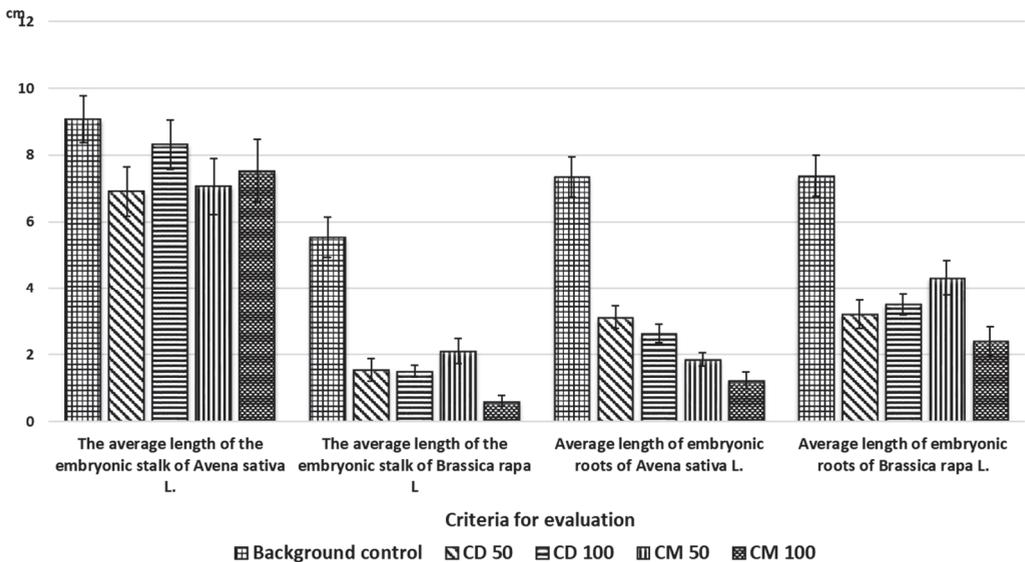
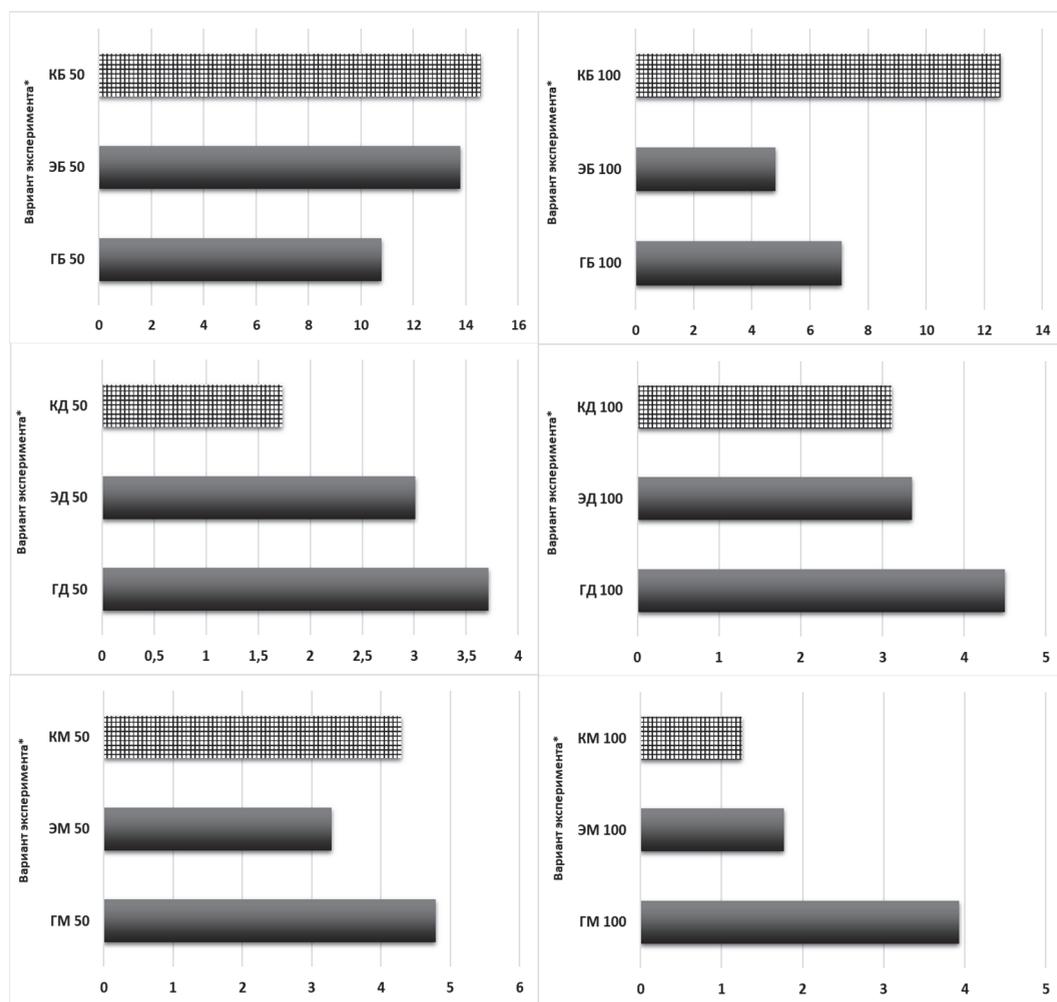


Figure 2. Change in the indicators of growth processes of test cultures in the experiment

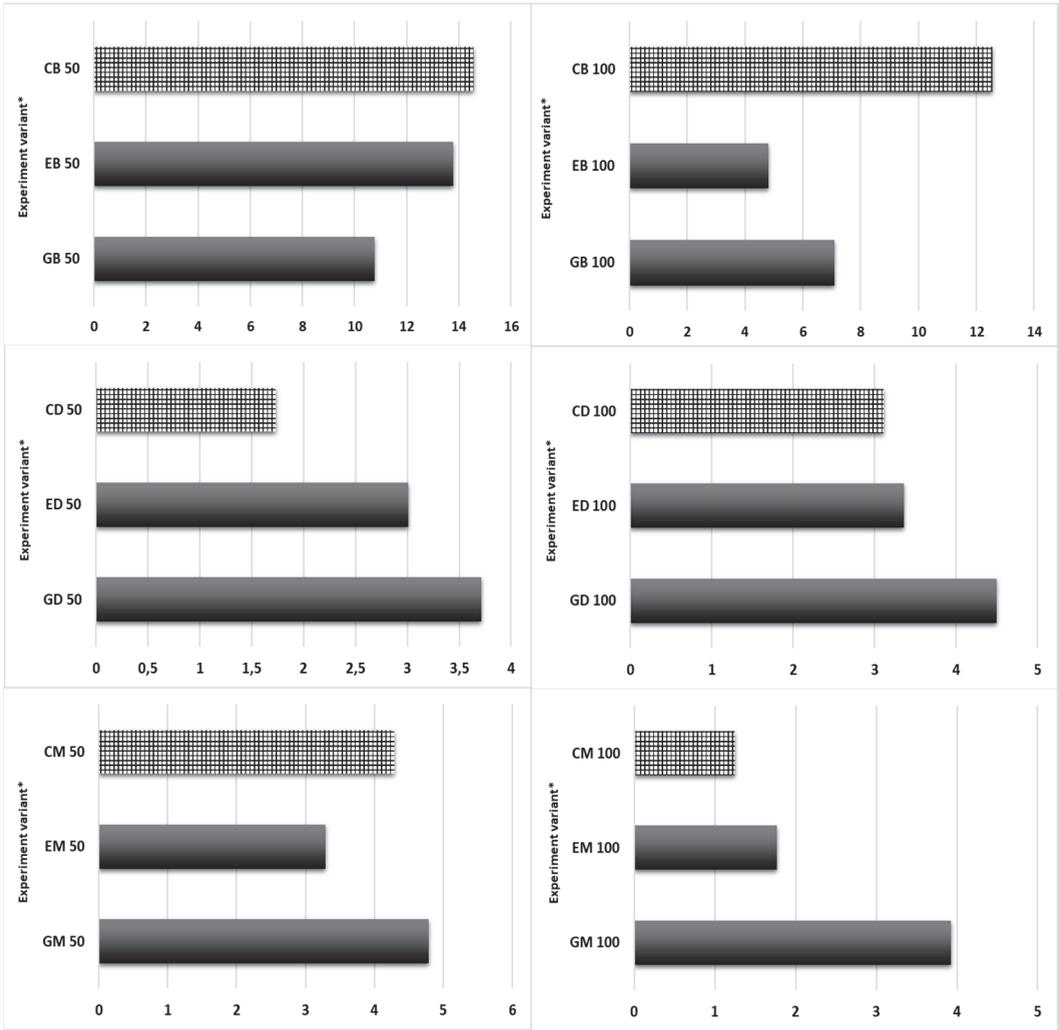
Наиболее отчетливое фитотоксичное действие нефтепродуктов было заметно по показателю средней длины зародышевых корней тест-культур, ингибирование которого составило от 50 до 85 % в различных вариантах

эксперимента. При этом прослеживалась тенденция увеличения фитотоксичности с ростом концентрации загрязнителей в почве, что наиболее выражено при использовании в качестве тест-культуры овса посевного (*Avena sativa* L.). Как в отношении овса посевного (*Avena sativa* L.), так и в отношении редьки масличной (*Brassica rapa* L.) максимальный фитотоксичный эффект отмечался при загрязнении почвы мазутом в дозе 100 г/кг, где угнетение ростовых процессов по сравнению с незагрязненной почвой составило 85 и 68 % соответственно.

На следующем этапе были исследованы детоксицирующие свойства гуминовых препаратов по отношению к нефтеуглеводородному загрязнению почв. Данная оценка основывалась на анализе фитотоксичности почвенных образцов вышеописанного модельного вегетационного эксперимента. Опираясь на результаты предыдущего этапа работы, применялся наиболее чувствительный к нефтеуглеводородному загрязнению почв критерий оценки фитотоксичности, а именно длина зародышевого корешка. В качестве тест-культуры использовалась редька масличная (*Brassica rapa* L.).



**Рис. 3.** Длина зародышевого корешка редьки масличной (*Brassica rapa* L.), см: штриховкой обозначены контрольные варианты эксперимента (без внесения в почву гуминовых препаратов)



**Figure 3.** The length of the embryonic root of *Brassica rapa* L., cm: shaded lines indicate control variants of the experiment (without adding humic preparations to the soil)

Полученные результаты свидетельствуют о проявлении гуминовыми препаратами детоксифицирующих свойств в отношении нефтеуглеводородного загрязнения почв при их биоремедиации. Установлено, что выраженность этих свойств зависит как от характеристик загрязнения (тип нефтепродукта-загрязнителя и его концентрация), так и от свойств самих препаратов (рис. 3).

Так, в отношении бензина явного проявления гуминовыми препаратами детоксифицирующих свойств не отмечалось. Напротив, в ряде вариантов с их внесением регистрировалось некоторое усиление фитотоксического эффекта по сравнению с контролем. Описываемая ситуация может быть связана с сорбцией некоторого количества бензина гуминовыми веществами, что препятствует основному процессу его утилизации из почвы – испарению.

Использование гуминовых препаратов на загрязненной дизельным топливом почве способствовало снижению ее фитотоксичности. Однако выраженность данного эффекта несколько различалась в отношении анализируемых препаратов. Например, препарат «Экорост» проявил себя только при уровне

загрязнения 50 г/кг, что выражалось в увеличении длины зародышевых корней тест-культуры в среднем на 74 % по сравнению с контролем. На вариантах с загрязнением почвы дизельным топливом в концентрации 100 г/кг действие «Экороста» было незначительным. Напротив, «Гуми» оказывал детоксифицирующее влияние в отношении двух уровней загрязнения, но максимальным оно было при внесении 50 г/кг дизельного топлива, где стимуляция роста редьки масличной (*Brassica rapa* L.) составила 114 % по сравнению с контролем.

В отношении детоксикации загрязненной мазутом почвы установлено положительное влияние препарата «Гуми». Эффект от внесения «Экороста» был невыраженным. Снижение фитотоксичности при внесении «Гуми» оказалось максимальным для уровня загрязнения 100 г/кг мазута в почве, где стимуляция ростовых процессов тест-культуры составила 214 % по сравнению с контролем.

В целом детоксифицирующие свойства препарата «Гуми» более выражены по сравнению с «Экоростом», что, по нашему мнению, обусловлено его составом и свойствами. Поскольку препарат «Гуми» получен из угля, то для него характерно высокое содержание ароматических фрагментов в структуре молекул гуминовых веществ и, соответственно, выраженное сродство к ароматическим компонентам нефтепродуктов [9; 10; 15]. Ввиду этого его диспергирующее и солюбилизующее действие по отношению к нефтеуглеводородам выше, чем у «Экороста», что способствует увеличению доступности загрязнителей для нефтеокисляющей микрофлоры и интенсификации их биодеструкции, а следовательно, и более эффективной детоксикации загрязненной почвы. Кроме того, препарат «Гуми», по сравнению с «Экоростом», содержит большее количество минеральных элементов (азота, фосфора и калия), выступая более выгодным источником минерального питания микробиоремедиаторов в процессе утилизации углеводородов нефтепродуктов.

### **Заключение**

Установлено, что при биоремедиации загрязненной нефтепродуктами почвы с использованием нефтеокисляющей микрофлоры отмечается их высокая фитотоксичность по целому ряду показателей, обуславливающая необходимость применения эффективных детоксикантов, в качестве которых мы рассматриваем гуминовые препараты.

В результате применения гуминовых препаратов удалось повысить уровень детоксикации загрязненной почвы, что выражалось в снижении ее фитотоксичности.

Эффективность гуминовых препаратов в отношении стимуляции микробиологической деструкции того или иного нефтепродукта и детоксикации загрязненной почвы во многом определяется спецификой молекулярной структуры препаратов, которая, в свою очередь, зависит от сырьевого источника их получения.

## Список литературы / References

- [1] Liu Q, Tang J, Gao K, Giesy JP. Aerobic degradation of crude oil by microorganisms in soils from four geographic regions of China. *Scientific Reports*. 2017;7(Part C):15–38. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-14032-5>
- [2] Atlas RM, Hazen TC. Oil biodegradation and bioremediation: A tale of the two worst spills in US history. *Environmental Science & Technology*. 2011;45(16):67–75. <http://dx.doi.org/10.1021/es2013227>
- [3] Brown LD, Cologgi DL, Gee KF, Gee F, Ulrich AC. *Bioremediation of oil spills on land*. New Jersey: John Wiley & Sons, Hoboken; 2015.
- [4] Edmo MR, Karlos KHM, Marcos TR. Prospect, isolation, and characterization of microorganisms for potential use in cases of oil bioremediation along the coast of Trindade Island, Brazil. *Journal of Environmental Management*. 2015;156:15–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.016>
- [5] Vineetha V, Shibu K. Bioremediation of oil contaminated soil. *2012 International Conference on Green Technologies (ICGT), 18–20 December 2012, Trivandrum, India*. New York: IEEE; 2012. p. 64–77. <http://dx.doi.org/10.1109/ICGT.2012.6477954>
- [6] Liang Y-N, Britt DW, McLean JE, et al. Humic acid effect on pyrene degradation: finding of an optimal range for pyrene solubility and mineralization enhancement. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2007;74:1368–1375. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-006-0769-8>
- [7] Lipczynska-Kochany E. Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil: a review. *Chemosphere*. 2018;202:420–437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.104>
- [8] Ivanov AA, Yudina NV, Maltseva EV, Matis EYa, Svarovskaya LI. Stimulation of the activity of microorganisms by humin preparations in oil-polluted soils. *Eurasian Soil Science*. 2010;43:210–215. <http://dx.doi.org/10.1134/S1064229310020110>
- [9] Grechishcheva NY, Meshcheryakov SV, Perminova IV, Kholodov VA. Stabilization of oil-in-water emulsions by highly dispersed particles: role in self-cleaning processes and prospects for practical application. *Russian Journal of General Chemistry*. 2017;87: 2166–2180. <http://dx.doi.org/10.1134/S1070363217090432>
- [10] Grechishcheva NY. Development of scientific foundations for the use of humic substances to eliminate the consequences of oil pollution of soil and water environments. Dissertation of the Doctor of Chemical Sciences. Moscow; 2016. (In Russ.)  
*Гречищева Н.Ю.* Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред : дис. ... д-ра хим. наук. М., 2016. 326 с.
- [11] Stepanov AA, Gosse DD, Panina MA. Application of the humic preparation “Piter-Pit” for detoxification and reclamation of oil-contaminated soil. *Problems of Agrochemistry and Ecology*. 2018;(1):55–57. (In Russ.)  
*Степанов А.А., Госсе Д.Д., Панина М.А.* Применение гуминового препарата «Питер-Пит» для детоксикации и рекультивации нефтезагрязненной почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 1. С. 55–57.
- [12] GOST 17.4.3.01–2017. *Nature Conservation (SSOP). Soils. General requirements for sampling*. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology; 2019. (In Russ.)  
ГОСТ 17.4.3.01–2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб. М. : Стандартинформ, 2019. 9 с.
- [13] Beškoski VP, Milic J, Gojgic-Cvijovic GD, Ilic M. Bioremediation of soil polluted with crude oil and its derivatives: microorganisms, degradation, pathways, technologies. *Hemijaska Industrija*. 2019;74(4):455–460. <http://dx.doi.org/10.2298/HEMIND110824084B>

- [14] GOST R ISO 22030–2009. *Soil quality. Biological methods. Chronic phytotoxicity for higher plants*. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology; 2011. (In Russ.) ГОСТ Р ИСО 22030–2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2011. 33 с.
- [15] Yang Yu, Shu L, Wang X, Xing B, Tao S. Mechanisms regulating bioavailability of phenanthrene sorbed on a peat soil-origin humic substance. *Environmental toxicology and chemistry*. 2012;31(7):1431–1437. <http://dx.doi.org/10.1002/etc.1844>

**Сведения об авторах:**

*Чердакова Алина Сергеевна*, кандидат биологических наук, доцент, кафедра географии, экологии и природопользования, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. eLIBRARY SPIN-код: 5372-7424; Scopus Author ID: 57202028624. E-mail: [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)

*Гальченко Светлана Васильевна*, кандидат биологических наук, доцент, кафедра биологии и методики ее преподавания, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. eLIBRARY SPIN-код: 1524-2513; Scopus Author ID: 57211478599. E-mail: [s.galchenko2017@yandex.ru](mailto:s.galchenko2017@yandex.ru)

**Bio notes:**

*Alina S. Cherdakova*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Ecology and Nature Management, Ryazan State University named for S. Yesenin. eLIBRARY SPIN-code: 5372-7424; Scopus Author ID: 57202028624. E-mail: [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)

*Svetlana V. Galchenko*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology and Methods of its Teaching, Ryazan State University named for S. Yesenin. eLIBRARY SPIN-code: 1524-2513; Scopus Author ID: 57211478599. E-mail: [s.galchenko2017@yandex.ru](mailto:s.galchenko2017@yandex.ru)



DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-349-360

УДК 556.53

Научная статья / Scientific article

## Оценка пораженности территории Московской области карьерами открытой добычи строительных материалов

К.О. Наумова✉, Е.В. Станис

*Российский университет дружбы народов,  
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6*

✉ [shunenkova-ko@rudn.ru](mailto:shunenkova-ko@rudn.ru)

**Аннотация.** Земли, нарушенные карьерами и сопутствующими отвалами, часто становятся непригодными для дальнейшего использования в качестве строительных площадок. Они представляют из себя техногенно измененные грунты с новыми физико-механическими и физико-химическими свойствами. Приводятся результаты исследования нарушенных земель Московской области, характеристика причин и видов нарушения земель, а также примеры изображения нарушенных земель на космических снимках. В ходе исследования использовались тематические и топографические карты и материалы дистанционного зондирования – космические снимки территории Московской области. Рассмотрены проблемы воздействия добычи нерудных строительных материалов на природные комплексы области, масштабы техногенного преобразования земной поверхности в результате открытой добычи и геоэкологические проблемы, возникающие при этом. Дана численная геоэкологическая оценка карьеров Московской области.

**Ключевые слова:** карьеры, добыча полезных ископаемых, общераспространенные полезные ископаемые, пораженность территории, нарушенные земли, геоэкологическая оценка

**Благодарности и финансирование.** Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5–100».

**История статьи:** поступила в редакцию 21.09.2020; принята к публикации 12.10.2020.

**Для цитирования:** *Наумова К.О., Станис Е.В.* Оценка пораженности территории Московской области карьерами открытой добычи строительных материалов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 349–360. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-349-360>



## Assessment of the open-mining prevalence on the territory of Moscow region

Ksenia O. Naumova✉, Elena V. Stanis

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

✉ shunenkova-ko@rudn.ru

**Abstract.** Lands disturbed by open cuts and associated dumps often become unsuitable for further use as construction sites. Disturbed lands are technologically altered soils with new changed physicommechanical and physicochemical properties. The paper examines the results of researching the disturbed lands of common mineral resources open cuts in Moscow region, provides a description of the causes and types of land disturbance, as well as examples of images of disturbed lands on satellite images. For this purposes, thematic and topographic maps and remote sensing materials – satellite images of the territory of the Moscow region were used. The problems of impact of common mineral resources extraction on the natural complexes in the region, the scale of technogenic transformation of the earth surface as a result of open cuts mining as well as the geoecological problems arising in this case are considered. Numerical geoecological assessment of sand quarries in Moscow region is also given.

**Keywords:** open cuts, mining, damage to the territory, disturbed lands, geoecological assessment

**Acknowledgements and Funding.** The publication has been prepared with the support of the RUDN University Program “5–100”.

**Article history:** received 21.09.2020; revised 12.10.2020.

**For citation:** Naumova KO, Stanis EV. Assessment of the open-mining prevalence on the territory of Moscow region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4): 349–360. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-349-360>

### Введение

Добыча полезных ископаемых составляет важную часть экономики многих государств, включая Россию. Кроме подземной добычи нередко разработка открытым способом, если залежи располагаются сравнительно неглубоко. Наряду с экономической эффективностью карьеры отличаются сильным негативным влиянием на все компоненты окружающей среды. Проблема оценки влияния карьеров на территорию интернациональна. Изучению карьеров и связанных с ними проблем воздействия на окружающую среду посвящены работы многих авторов [1–7].

Почти все эксплуатируемые в Подмоскovie месторождения разрабатываются открытым способом (с помощью карьеров). Техногенные изменения геологической среды при разработке месторождений захватывают значительные территории, превосходящие площадь горных отводов, и вызывают развитие экзогенных геологических процессов, часто несвойственных данной территории, а также специфических горногеологических процессов: пу-

чение пород в выработках, развитие трещиноватости в скальных породах (известняках, доломитах) [8–10].

Для снижения водопритоков в карьеры во время экскавации полезных ископаемых часто используют законтуренное водопонижение. Откаченные воды вливаются на поверхность в понижения рельефа. При этом могут заболачиваться прилегающие территории. Увеличение гидравлического уклона между бортом и днищем карьера вызывают усиление эрозии поверхностным смывом и нарушение естественного гидрологического равновесия. Уменьшение гидравлического уклона русловых потоков приводит к их подпору, образованию затопленных территорий и паводку на окружающей местности. Изменения гидрогеологических условий влияет и на другие параметры геологической среды [11–13].

В бортах карьеров развиваются осыпи, оползни, эрозия, появляются трещины бокового отпора. Дно карьеров часто затопливается, образуя иногда большие озера, в которых происходит подмыв берегов [1; 14]. Эти процессы представлены на примере карьера Дзержинский (рис. 1).



**Рис. 1.** Дзержинский карьер. Процессы в бортах карьера: затопление, эрозия, осыпи, оползни  
**Figure 1.** The Dzerzhinsky open cut. Processes on the open cut: flooding, erosion, scree, landslides

В песчаных карьерах получила широкое распространение суффозия, которая приводит к неустойчивости бортов карьеров и возникновению опасности для работающих в них людей и механизмов [1; 15; 16].

Образование отвалов различных форм, размеров и состава преобразует поверхность и формирует элементы техногенного рельефа [14; 16].

Земли, нарушенные карьерами и сопутствующими отвалами, становятся часто непригодными для дальнейшего использования в качестве строительных площадок. Нарушенные горные породы, перемещенный грунт, отвалы представляют из себя техногенно измененные грунты с новыми физико-механическими и физико-химическими свойствами. Это приводит к накоплению техногенных грунтов с новыми неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами и загрязнению гидрогеологических горизонтов. В выработанных пространствах карьеров и отвалов образуются несанкционированные свалки [17; 18].

Кроме того, не только сами карьеры, но и их инфраструктура оказывают негативное влияние на экологическую ситуацию территории: разрушается почвенный покров, угнетается и уничтожается растительность. Шумовая нагрузка от взрывов и работающей техники распугивает животных, негативно влияет на здоровье населения [19].

В свете вышесказанного оценка распространенности карьеров в Московской области (МО) является необходимой и важной задачей. Однако восстановление первичного природного окружения неосуществимо в реальном времени.

### Материалы и методы

В качестве источника информации для проведения оценки карьерной нагрузки на территорию МО использованы данные из официальных источников: реестра первичной и интерпретированной информации Единого фонда геологической информации о недрах, Государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых, информационных докладов Министерства природных ресурсов о состоянии окружающей среды в Московском регионе. Отсюда были получены данные о названии и расположении объектов учета, основных и попутных полезных ископаемых, количестве учтенных на балансе и в разработке полезных ископаемых, структуре минерально-сырьевой базы.

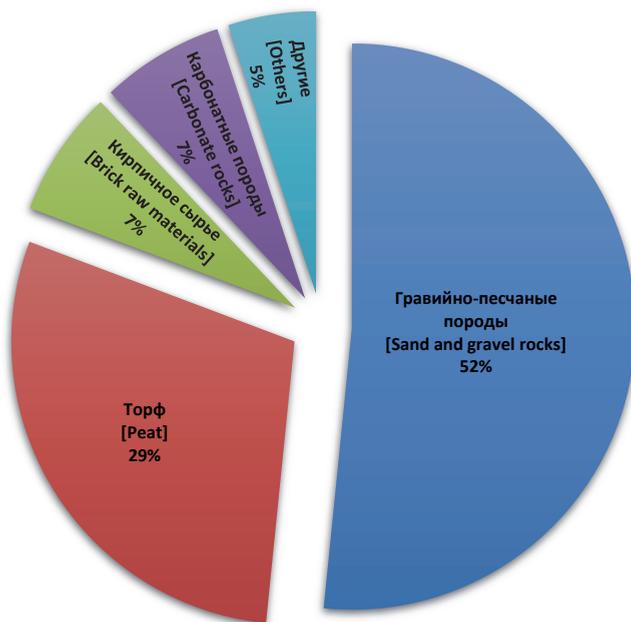
В Государственном балансе по Московской области числится порядка 720 месторождений общераспространенных полезных ископаемых с общими запасами промышленных категорий более 2 млрд м<sup>3</sup> [20].

Из сводного государственного реестра участков недр Единого фонда геологической информации были выбраны месторождения общепринятых полезных ископаемых (ОПИ).

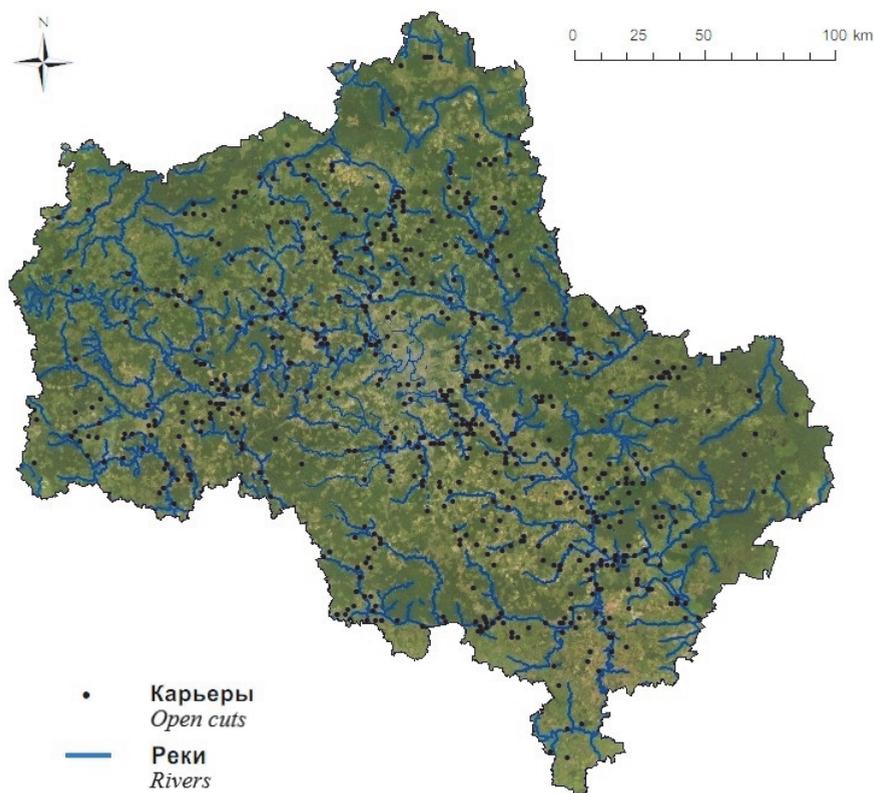
Московская область обладает мощной минерально-сырьевой базой, включающей месторождения 18 видов полезных ископаемых, с преобладанием в структуре песков строительных и песчано-гравийных пород, общие запасы которых составляют 1 млрд 296 млн (51,4 % от общего количества запасов), и торфа с балансовыми запасами в 728,3 млн м (29,0 %); далее в порядке убывания следуют: кирпичное сырье – 180,0 млн м (7,2 %), карбонатные породы – 177,0 млн м (7,0 %), керамзитовое и термолитовое сырье – 72,7 млн м (2,9 %), тугоплавкие глины – 58,0 млн м (2,3 %) [20]. Процентное соотношение полезных ископаемых, добываемых на территории Московской области, представлено на рис. 2.

На основе данных Единого фонда геологической информации была составлена карта-схема распространенности карьеров по добыче полезных ископаемых Московской области, представленная на рис. 3. Для построения карт применялась геоинформационная система ArcGis, которая использует спутниковые данные Landsat и MODIS и высокодетальную космическую съемку.

Обработка данных выделения районов с различной карьерной нагрузкой выполнялась статистическими методами обработки.



**Рис. 2.** Структура минерально-сырьевой базы общераспространенных полезных ископаемых: *другие* – керамзитовое и термолитовое сырье (2,9 %), тугоплавкие глины (2,3 %) [19]  
**Figure 2.** The structure of the mineral resource base of common minerals: *others* – expanded clay and thermolite raw materials (2.9%), refractory clays (2.3%) [19]



**Рис. 3.** Карта-схема Московской области с расположением карьеров по добыче полезных ископаемых  
**Figure 3.** The schematic map of Moscow region with the distribution of open cuts

Для расчетов плотности карьеров и удельной плотности использовались следующие формулы:

– коэффициент распространенности  $D$ :

$$D = N / S,$$

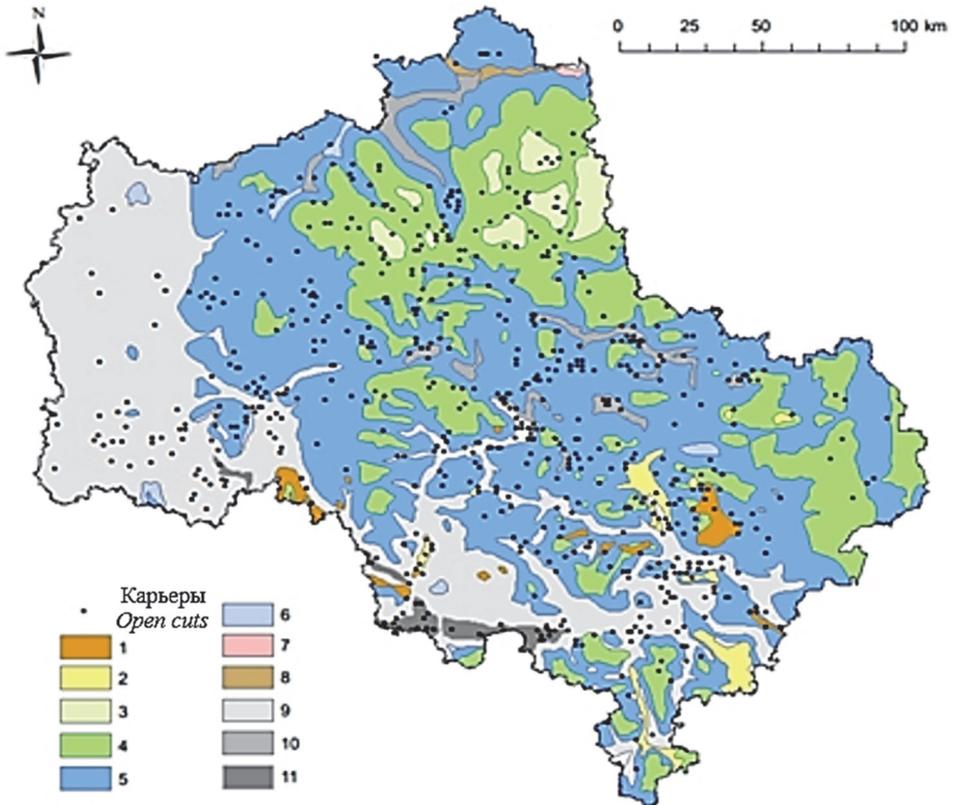
где  $S$  – площадь территории;  $N$  – количество карьеров;

– удельная плотность карьеров:

$$1 / D = N / S.$$

Для расчета карьерной нагрузки на территорию вся площадь Московского региона была разбита на 257 квадратов со стороной 15 км<sup>2</sup> и площадью 225 км<sup>2</sup>. Для каждого единичного квадрата было подсчитано количество карьеров, оказавшихся внутри него.

Расположение карьеров в пределах Московской региона представлено на картосхеме (рис. 4), созданной при помощи геоинформационных систем на основе геологической карты [21].



**Рис. 4.** Геологическая карта исследуемой территории с карьерами:

отложения неоген-четвертичной системы: 1 – пески и глины; неогеновой системы: 2 – пески и глины; меловой системы: 3 – верхний отдел: трепелы, глины, пески, песчаники; 4 – нижний отдел: пески с фосфоритами, песчаники, глины; юрской системы: 5 – верхний отдел: темные глины и пески с фосфоритами; 6 – средний-верхний отдел: глины, пески, песчаники; пермской системы: 7 – верхний отдел: глины; 8 – нижний отдел: доломиты, известняки; каменноугольной системы: 9 – верхний отдел: известняки, доломиты, пестрые глины и мергели; 10 – средний отдел: известняки и доломиты с прослоями глин и мергелей; 11 – нижний отдел: известняки, глины, пески

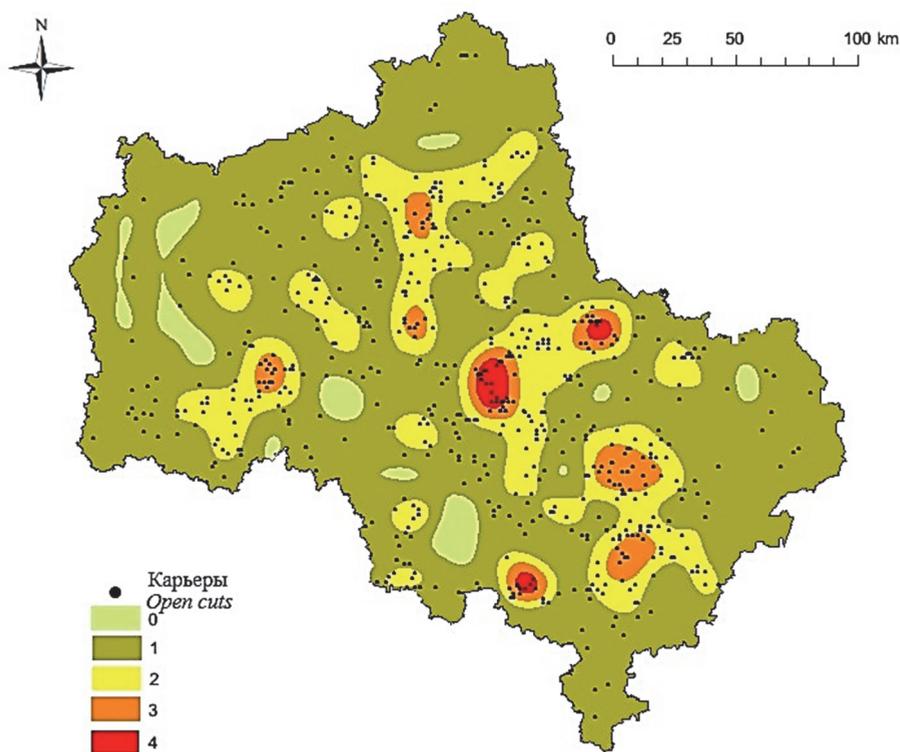
**Figure 4.** Geological map of the study area with distribution of open cuts:

deposits of the Neogene-Quaternary system: 1 – sand and clay; Neogene system: 2 – sands and clay; Cretaceous system: 3 – upper section: tripoli, clays, sands, sandstones; 4 – lower section: sands with phosphorites, sandstones, clay; Jurassic system: 5 – upper section: dark clays and sands with phosphorites; 6 – middle-upper section: clays, sands, sandstones; Permian system: 7 – upper section: clay; 8 – lower section: dolomites, limestone; Coal system: 9 – upper section: limestones, dolomites, mottled clays and marls; 10 – middle section: limestones and dolomites with interlayers of clays and marls; 11 – lower section: limestones, clays, sands

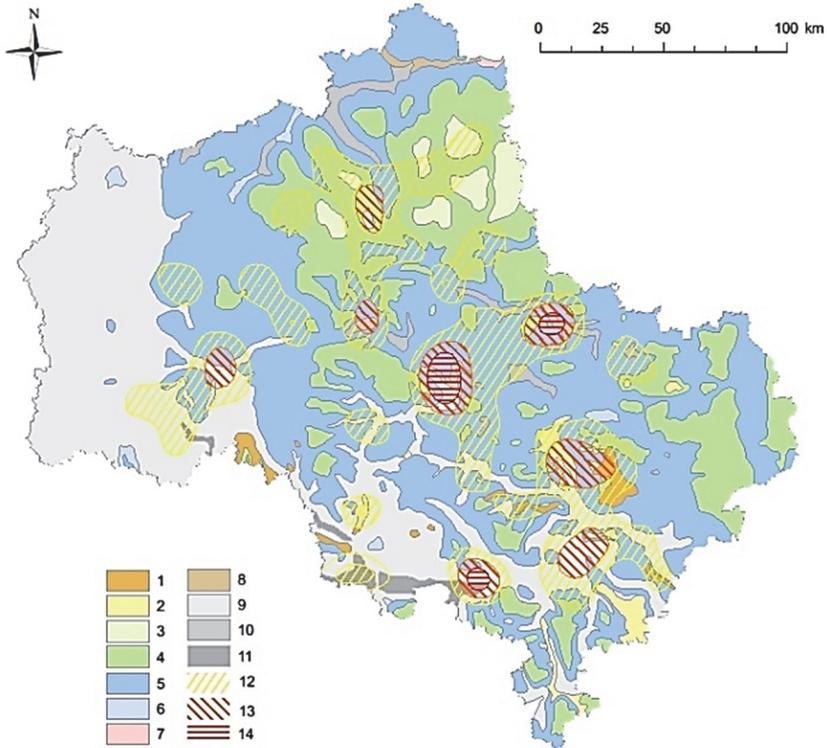
К слоям четвертичной системы приурочены следующие полезные ископаемые: легкоплавкие глины, балластные, строительные и формовочные пески, пески для силикатного кирпича, гравий, валуны, известковые туфы и минеральные краски. В слоях меловой системы залегают трепел, формовочные пески, реже стекольные пески и песчаники. В слоях юрской системы встречаются тугоплавкие глины, формовочные и стекольные пески, пески для силикатного кирпича, песчаники и фосфориты. К слоям каменноугольной системы принадлежат известняки, доломиты и мергели. Основные месторождения известняков распространены в центральной части Московской области, будучи расположенными по дуге с запада и юга. Месторождения доломитов распространены в северо-восточной части региона. Известковые туфы встречаются часто, но заслуживают внимания только в северной части зоны. Легкоплавкие глины распространены повсеместно на севере, западе и юге зоны. Гравий встречается почти исключительно на севере и северо-западе региона [22].

### Результаты и их обсуждение

Для оценки распространенности карьеров была рассчитана плотность карьеров на  $1 \text{ км}^2$  ( $D$ ). Всего в московском регионе находятся в разработке 722 карьера  $N$ . С учетом того что площадь Московского региона  $S$  составляет  $44\,300 \text{ км}^2$ , на  $61,4 \text{ км}^2$  приходится один карьер.



**Рис. 5.** Схематическая карта плотности карьеров в пределах Московской области: карьерная нагрузка: 0 – отсутствует; 1 – слабая; 2 – умеренная; 3 – повышенная; 4 – высокая  
**Figure 5.** The schematic map of the open cuts density distribution in the Moscow region: career load: 0 – absent; 1 – light; 2 – moderate; 3 – increased; 4 – high



**Рис. 6.** Геологическая карта Московской области с зонами карьерной нагрузки:  
 отложения неоген-четвертичной системы: 1 – пески и глины; неогеновой системы: 2 – пески и глины;  
 меловой системы: 3 – верхний отдел: трепелы, глины, пески, песчаники; 4 – нижний отдел: пески с фосфоритами,  
 песчаники, глины; юрской системы: 5 – верхний отдел: темные глины и пески с фосфоритами;  
 6 – средний-верхний отдел: глины, пески, песчаники; пермской системы: 7 – верхний отдел: глины;  
 8 – нижний отдел: доломиты, известняки; каменноугольной системы: 9 – верхний отдел: известняки, доломиты,  
 пестрые глины и мергели; 10 – средний отдел: известняки и доломиты с прослоями глин и мергелей;  
 11 – нижний отдел: известняки, глины, пески; карьерная нагрузка: 12 – умеренная; 13 – повышенная; 14 – высокая

**Figure 6.** Geological map of the study area with zones of open cuts density distribution:  
 deposits of the Neogene-Quaternary system: 1 – sand and clay; Neogene system: 2 – sands and clay; Cretaceous system:  
 3 – upper section: tripoli, clays, sands, sandstones; 4 – lower section: sands with phosphorites, sandstones, clay;  
 Jurassic system: 5 – upper section: dark clays and sands with phosphorites; 6 – middle-upper section: clays, sands, sandstones;  
 Permian system: 7 – upper section: clay; 8 – lower section: dolomites, limestone; Coal system: 9 – upper section:  
 limestones, dolomites, mottled clays and marls; 10 – middle section: limestones and dolomites with interlayers of clays and marls;  
 11 – lower section: limestones, clays, sands; zones of open cuts density distributions: 12 – moderate load;  
 13 – increased load; 14 – high load

Распространенность карьеров, полученная в результате исследований, показала следующее. Средняя величина удельной плотности для Московского региона составляет 0,016 карьеров на 1 км<sup>2</sup>, величина варьирует от 0 при отсутствии карьеров до 0,084 км<sup>2</sup> на тех участках, где находится 19 карьеров. Дальнейшая оценка распределения плотности карьеров по территории проводилась с использованием статистических методов. Наибольшее количество карьеров, приходящихся на единичный квадрат, составило 19, а наименьшее – 1. На части территории в единичных квадратах карьеры отсутствуют (в 96 общей площадью 21 600 км<sup>2</sup>). Таким образом, реальная плотность *D* карьеров на оставшейся площади Московского региона (площадь 22 700 км<sup>2</sup>) составит 1 карьер на 31,44 км<sup>2</sup>, что в 2 раза выше средней.

Для построения визуальной модели плотности принято следующее предположение: отсутствие карьерной нагрузки – 0 карьеров; слабая нагрузка – 1–5; умеренная – 6–10; повышенная – 11–15; высокая – больше 15. Число карьеров в единичном квадрате было отнесено к центру квадрата и соответ-

ственно выбранным интервалам составлена карта-схема плотности карьеров, построенная на основе данных из Единого фонда геологической информации и по рассчитанной авторами величине плотности (рис. 5).

На рис. 6 представлена совмещенная карта-схема карьерной нагрузки и геологической карты, построенная на основе геологической карты [20] и по рассчитанной авторами величине плотности.

На рис. 6 видно, что наибольшая нагрузка приходится на отложения среднего и верхнего отделов каменноугольной системы, к которым принадлежат известняки, доломиты и мергели. Зона повышенной нагрузки приурочена к верхнему отделу каменноугольной системы, где добывают известняки и доломиты, а также к отложениям юрской системы, где расположены месторождения тугоплавких глин, стекольных песков и фосфоритов. Зона умеренной нагрузки приходится на отложения юрской, каменноугольной и неоген-четвертичной систем. К слоям четвертичной системы приурочены легкоплавкие глины, балластные, строительные и формовочные пески, пески для силикатного кирпича, гравий, валуны, известковые туфы.

### Заключение

Проведена оценка распространенности карьеров в Московском регионе и составлена карта плотности их распределения. Установлено, что максимальное распространение карьеров приурочено к добыче известняков, доломитов и мергелей каменноугольной системы.

### Список литературы

- [1] *Darwish T. et al.* Environmental impact of quarries on natural resources in Lebanon // *Land Degradation & Development*. 2011. Vol. 22. No. 3. Pp. 345–358.
- [2] *Бубнова О.А.* Восстановление свойств нарушенных горными работами земель // *Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр.* Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2011. С. 94.
- [3] *Калиева К.Б., Ишкенов Б.Т.* Воздействие на окружающую среду открытых горных разработок // *Инновационная наука*. 2017. № 11. С. 33–37.
- [4] *Курчин Г.С. и др.* Проблемы экологии при добыче нерудных строительных материалов в России // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. URL : <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10500> (дата обращения: 10.10.2020).
- [5] *Назаренко Н.В., Петин А.Н., Фурманова Т.Н.* Воздействие разработки месторождений по добыче общераспространенных полезных ископаемых на окружающую природную среду // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6. С. 610.
- [6] *Тажетдинова Н.С., Иолин М.М.* Геоэкологическая оценка и контроль антропогенного воздействия при добыче минерального сырья // *Геология, география и глобальная энергия*. 2011. № 2. С. 235–242.
- [7] *Stanis E.V., Ogorodnikova E.N., Karpukhina E.A.* Changing in the parameters of dumps of coal-mining industry of Kansr-Achinsk (Siberian) coal field and possibility of their remediation // *International Symposium on Geoenvironmental Engineering*. 2009. Pp. 103–105.
- [8] *Vondráčková T. et al.* The Fracturing of rock mass and its risks to engineering objects // *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015. Vol. 15. Pp. 60–65.

- [9] *Гасанова Н.Ю.* Особенности процессов деформирования откосов бортов глубоких карьеров, сложенных трещиноватыми скальными породами // Проблемы науки. 2017. № 6 (19). С. 20–22.
- [10] *Шпаков П.С. и др.* Влияние трещиноватости на устойчивость бортов карьера и ее изменчивость по площади и глубине на Горевском месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 11. С. 32–40.
- [11] *Закирт Хоссайн Г.М., Саумитра Нараян Деб, Станис Е.В., Машиковцев И.Л.* Охрана геологической среды от влияния подземных горных работ // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. М. : Изд-во РУДН, 2004. С. 71.
- [12] *Мурашева А.А., Мазено А.А., Ленехин П.П.* Правовые проблемы недропользования, влияющие на развитие «зеленой» экономики в Российской Федерации на примере Московской области // Московский экономический журнал. 2017. № 2. С. 32.
- [13] *Макарова Н.В., Григорьева С.В.* Геоморфологическое районирование территории Москвы в новых границах // Геоморфология. 2019. № 4. С. 56–68.
- [14] *Свиридова Т.В. и др.* Обеспечение устойчивости откосов бортов карьеров с целью предупреждения аварий и чрезвычайных ситуаций // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова. 2016. Т. 14. № 4. С. 5–10.
- [15] *Lavrusevich A., Abene A., Lavrusevich I.* Geocological aspects of technogenic impact on the territory of raw materials production for construction // MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 265. Article 06013.
- [16] *Рудько Г.И., Шехунова С.Б., Шиманский Л.И.* Современные природно-техногенные процессы в зоне влияния Кривского гипсового карьера (пограничный участок Украины и Молдовы) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2004. № 3. С. 257–264.
- [17] *Ашихмина Т.В., Овчинникова Т.В., Федянин В.И.* Загрязнение окружающей среды при депонировании твердых бытовых отходов // Фундаментальные исследования. 2009. Т. 7. С. 78–80.
- [18] *Козловский А.А., Хоменко Н.Н.* Использование выработанного пространства карьера в качестве полигона для складирования промышленных отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 9. С. 285–288.
- [19] *Марыныч С.Н., Колмыков С.Н.* Шумовое загрязнение в районах добычи и переработки мела открытым способом (на примере ОАО «Шебекино-Мел») // Современные тенденции развития науки и технологий : сборник научных трудов по материалам VII Международной научно-практической конференции (31 октября 2015 г.). Белгород, 2015. С. 133–135.
- [20] О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2018 году : информационный выпуск. Красногорск, 2019.
- [21] Природные ресурсы Московской области : атлас / авт.-сост. М.Н. Бучкин и др. ; Научно-производственное предприятие «Георесурс». М., 2008.
- [22] *Даньшин Б.М.* Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и ее окрестностей. М. : Изд-во МОИП, 1947. С. 308.

## References

- [1] Darwish T, et al. Environmental impact of quarries on natural resources in Lebanon. *Land Degradation & Development*. 2011;22(3):345–358.
- [2] Bubnova OA. Recovery soil properties are violated mining. *Geotechnical Mechanics: Interdepartmental Collection of Scientific Papers*. Dnepropetrovsk: IGTM NASU; 2011. p. 94. (In Ukrainian.)

- [3] Kalieva KB, Ishkenov BT. Impact on the environment of opencast mining. *Innovative Science*. 2017;(11):33–37. (In Russ.)
- [4] Kurchin GS, Volkov EP, Zaytseva EV, Kirsanov AK. Environmental problems in the extraction of nonmetallic building materials in Russia. *Modern Problems of Science and Education*. 2013;(6). (In Russ.) Available from: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10500> (accessed: 10.10.2020).
- [5] Nazarenko NV, Petin AN, Furmanova TN. Effects development of deposits common mineral resources on the environment. *Modern Problems of Science and Education*. 2012;(6):610. (In Russ.)
- [6] Tazhetdinova NS, Iolin MM. Geoecological assessment and control of anthropogenic impact during the extraction of mineral raw materials. *Geology, Geography and Global Energy*. 2011;(2):235–242. (In Russ.)
- [7] Stanis EV, Ogorodnikova EN, Karpukhina EA. Changing in the parameters of dumps of coal-mining industry of Kansr-Achinsk (Siberian) coal field and possibility of their remediation. *International Symposium on Geoenvironmental Engineering*. 2009:103–105.
- [8] Vondráčková T, et al. The fracturing of rock mass and its risks to engineering objects. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015;15:60–65.
- [9] Hasanova NYu. Features of the deformation processes of the slopes of the sides of deep quarries, composed of fractured rocks. *Problems of Science*. 2017;6(19):20–22. (In Russ.)
- [10] Shpakov PS, et al. Influence on stability fractured pit and its variability in size and depth on Gorevsky field. *Gorny Information and Analytical Bulletin*. 2015;(11):32–40. (In Russ.)
- [11] Zakirt Hossain GM, Saumitra Narayan Deb, Stanis EV, Mashkovtsev IL. Protection of the geological environment from the influence of underground mining. In: *Resource-Reproducing, Low-Waste and Environmental Technologies for the Development of Subsoil*. Moscow: RUDN Publ.; 2004. p. 71. (In Russ.)
- [12] Murasheva AA, Mazepo AA, Lepekhin PP. Legal problems of subsoil use affecting the development of a “green” economy in the Russian Federation on the example of the Moscow region. *Moscow Economic Journal*. 2017;(2):32. (In Russ.)
- [13] Makarova NV, Grigorieva SV. Geomorphological zoning of the territory of Moscow within new boundaries. *Geomorphology*. 2019;(4):56–68.
- [14] Sviridova TV, et al. Ensuring the stability of the slopes of the pit walls to prevent accidents and emergencies. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2016;14(4):5–10. (In Russ.)
- [15] Lavrusevich A, Abene A, Lavrusevich I. Geoecological aspects of technogenic impact on the territory of raw materials production for construction. *MATEC Web of Conferences*. 2019;265:06013.
- [16] Rudko GI, Shekhunova SB, Shimansky LI. Modern natural and technogenic processes in the zone of influence of the Krivskoe gypsum quarry (border area of Ukraine and Moldova). *Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*. 2004;(3): 257–264. (In Russ.)
- [17] Ashikhmina TV, Ovchinnikova TV, Fedyanin VI. Environmental pollution during the deposition of solid household waste. *Fundamental Research*. 2009;7:78–80. (In Russ.)
- [18] Kozlovsky AA, Khomenko NN. Use of the mined-out space of a quarry as a landfill for storage of industrial waste. *Gorny Information and Analytical Bulletin*. 2010;(9): 285–288. (In Russ.)
- [19] Marynych SN, Kolmykov SN. Noise pollution in areas where chalk is mined and processed by an open method (on the example of OJSC “Shebekino-Mel”). *Modern Trends in the Development of Science and Technology: a Collection of Scientific Pa-*

*pers Based on the Materials of the VII International Scientific and Practical Conference (31st October 2015)*. Belgorod; 2015. p. 133–135. (In Russ.)

- [20] *On the state of natural resources and the environment of the Moscow region in 2018: information release*. Krasnogorsk; 2019. (In Russ.)
- [21] Buchkin MN, et al. (comps.) *Natural resources of the Moscow region: atlas*. Moscow; 2008. (In Russ.)
- [22] Danshin BM. *Geological structure and minerals of Moscow and its environs*. Moscow: MOIP Publ.; 1947. p. 308. (In Russ.)

#### **Сведения об авторах:**

*Наумова Ксения Олеговна*, аспирант, кафедра геоэкологии, экологический факультет, Российский университет дружбы народов. E-mail: shunenкова-ko@rudn.ru

*Станис Елена Владимировна*, кандидат технических наук, доцент, заведующая, кафедра геоэкологии, экологический факультет, Российский университет дружбы народов. eLIBRARY SPIN-код: 3964-3144. E-mail: stanis-ev@rudn.ru

#### **Bio notes:**

*Ksenia O. Naumova*, Ph.D. student, Department of Geocology, Faculty of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: shunenкова-ko@rudn.ru

*Elena V. Stanis*, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geocology, Faculty of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). eLIBRARY SPIN-code: 3964-3144. E-mail: stanis-ev@rudn.ru



## БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ LIFE SAFETY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-361-369

УДК 57.049

Научная статья / Scientific article

### Оценка радиационной активности радона-222 при проектировании жилых зданий

А.В. Сауц<sup>1</sup>✉, В.Н. Сауц<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики,  
Российская Федерация, 190103, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр-кт, д. 44, лит. А

<sup>2</sup>Военный институт (инженерно-технический)

Военной академии материально-технического обеспечения имени А.В. Хрулёва,  
Российская Федерация, 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22

✉ [art\\_88@bk.ru](mailto:art_88@bk.ru)

**Аннотация.** Разработана методика, позволяющая выполнить оценку радиационной активности радона-222 с помощью математического моделирования при проектировании жилых зданий в соответствии с правилами проектирования противорадиационной защиты. Методика основана на численном решении уравнений диффузии, теплообмена, Навье – Стокса, дополненном соответствующими моделями турбулентности, начальными и граничными условиями, в частности учитывается процесс естественного распада, седиментации радона-222 в помещении. Выполнена верификация методики для жилого помещения многоквартирного дома, расположенного на территории Санкт-Петербурга. Использование предложенной методики расчета позволяет выявить наиболее радиационно «опасные» места в помещении, рационально организовать воздухообмен и конфигурацию помещения, предупредить развития «синдрома больного здания» и т. д.

**Ключевые слова:** радон-222, радиоактивный распад,  $\alpha$ -излучение, радиоактивное загрязнение помещений

**История статьи:** поступила в редакцию 17.08.2020; принята к публикации 10.10.2020.

**Для цитирования:** Сауц А.В., Сауц В.Н. Оценка радиационной активности радона-222 при проектировании жилых зданий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 361–369. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-361-369>



## Assessment of radon-222 radiation activity in the design of residential buildings

Artur V. Sauts<sup>1</sup>✉, Valery N. Sauts<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Saint Petersburg University of Management Technologies and Economics, 44 Lermontovskii Prospekt, litera A, Saint Petersburg, 190103, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Military Institute (Engineering and Technical) of the Military Academy of Material Logistics named after General of the Army A.V. Khrulev, 22 Zakharyevskaya St, Saint Petersburg, 191123, Russian Federation*

✉ art\_88@bk.ru

**Abstract.** In this paper, we have developed a method that allows us to evaluate the radiation activity of radon-222 based on mathematical modeling in the design of residential buildings in accordance with the rules for designing anti-radon protection. The method is based on the numerical solution of the diffusion, heat transfer, and Navier – Stokes equations, supplemented by appropriate turbulence models, initial and boundary conditions, in particular, the process of natural decay and sedimentation of radon-222 in the room is taken into account. Verification of the method for residential premises of an apartment building located on the territory of Saint Petersburg was performed. Using the proposed calculation method allows you to identify the most radiation “dangerous” places in the room, rationally organize the air exchange and configuration of the room, prevent the development of “sick building syndrome”, etc.

**Keywords:** radon-222, radioactive decay,  $\alpha$ -radiation, radioactive contamination of premises

**Article history:** received 17.08.2020; revised 10.10.2020.

**For citation:** Sauts AV, Sauts VN. Assessment of radon-222 radiation activity in the design of residential buildings. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):361–369. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-361-369>

### Введение

Радон-222 представляет собой газ, не имеющий ни цвета, ни вкуса, ни запаха, опасный для живых организмов вследствие его канцерогенных и радиоактивных свойств. Распад ядер радона-222 и его дочерних изотопов в организме человека способствует процессам, приводящим к лучевым ожогам легочной ткани и раку легкого – одного из самых распространенных видов онкологических заболеваний. Кроме того, курение усиливает негативное влияние радона на организм человека. Рак легких, развившийся после облучения радоном-222, является шестой по частоте причиной смерти от онкологических заболеваний, вызванных неблагоприятной окружающей средой [1].

Источники проникновения радона-222 в жилые здания – приточный наружный воздух, куда он попадает с земной поверхности, и радиоактивные строительные материалы, преимущественно изготовленные из минерального сырья. Поскольку радон-222 тяжелее воздуха, то наибольшую опасность он представляет при скапливании в низинах, подвальных и цокольных помещениях, на нижних этажах зданий. Защита зданий от радонового излучения должна

предусматриваться на этапе их проектирования. В соответствии с правилами проектирования противорадоновой защиты СП 321.1325800.2017, необходимым является выполнение расчета его активности в воздухе помещений [2]. Однако существующие методики являются приближенными и детально не учитывают такие фундаментальные физические процессы, протекающие в воздушной среде, как конвекция, седиментация, диффузия, теплообмен, естественный радиоактивный распад.

Таким образом, цель настоящего исследования – совершенствование методов расчета радиационной активности радона-222 в жилых зданиях.

### Методы и результаты исследования

Активность источника ионизирующего излучения  $A$ , Бк, определяется по формуле

$$A = \frac{dN}{dt}, \quad (1)$$

где  $dN$  – ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из данного энергетического состояния;  $dt$  – время, с.

В соответствии с законом радиоактивного распада

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – постоянная распада,  $\text{с}^{-1}$ , для радона-222  $\lambda = -2,0972 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$  [3].

Подставив уравнение (2) в (1) и помножив обе части уравнения (1) на молярную массу  $Mr$ , разделив на число Авогадро  $N_a$  и объем пространства  $V$ , получим значение удельной активности  $a$ , Бк/ $\text{м}^3$ :

$$a \cdot \frac{Mr}{N_a V} = -Mr \frac{\lambda N}{N_a V} = -\lambda c,$$

или

$$a = -\lambda N_a c / Mr, \quad (3)$$

где  $c$  – концентрация радиоактивной примеси,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Уравнение (3) свидетельствует о линейном характере зависимости между удельной активностью и концентрацией радиоактивной примеси. Тогда расчет удельной активности радона-222 можно производить с помощью уравнения диффузии:

$$\frac{\partial a}{\partial t} + \nabla(a\vec{V} - k_{xyz}\nabla a) - \frac{\partial(\vec{w}_s a)}{\partial z} + \lambda a = I, \quad (4)$$

где  $\vec{V} = \vec{V}(u; v; w)$  – вектор скорости движения воздуха,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $I$  – эмиссия вещества, Бк/ $(\text{м}^2\text{с})$ ;  $k_{xyz} = \text{diag}\{k_x; k_y; k_z\}$  – коэффициент молекулярной диффузии, для радона-222  $k_x = k_y = k_z = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{м}^2/\text{с}$  [4];  $\vec{w}_s$  – скорость оседания или подъема примеси в воздухе,  $\text{м}/\text{с}$ , определяемая по формуле [5]

$$\vec{w}_s = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho_{\text{газа}} - \rho}{\eta} g r^2, \quad (5)$$

где  $\rho_{\text{газа}}$  – плотность газа, составляющего примесь,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho$  – плотность среды (воздуха),  $\text{кг/м}^3$ ;  $\eta$  – динамическая вязкость среды (воздуха),  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $r$  – радиус частицы (атома) примеси, м.

Эмиссия радона  $I$  из строительного материала определяется как [6]

$$I = c_{Ra}\rho_M E \sqrt{\frac{\lambda D_e}{\varepsilon}} \operatorname{th}\left(d \sqrt{\frac{\lambda \varepsilon}{D_e}}\right), \quad (6)$$

где  $c_{Ra}$  – удельная активность радия-226 в материале слоя,  $c_{Ra} = 50 \text{ Бк/кг}$ ;  $\rho_M$  – плотность строительного материала, для тяжелого бетона  $\rho_M = 2200 \text{ кг/м}^3$ ;  $E = 0,16$  – коэффициент эманирования радона;  $D_e$  – коэффициент диффузии в материале слоя, для тяжелого бетона  $D_e = 7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  [7];  $\varepsilon = 0,08$  – пористость материала;  $d$  – половина толщины слоя материала, м.

Эмиссию радона-222, поступающего в помещения через неплотности ограждающей конструкции (оконный блок) с наружным воздухом, можно найти как

$$I = a_{\phi} n V_{\text{пом}} / S, \quad (7)$$

где  $a_{\phi}$  – фоновая активность радона-222 в наружном воздухе,  $a_{\phi} = 7 \text{ Бк/м}^3$ ;  $n$  – кратность воздухообмена,  $n = 9,72 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  [8];  $S$  – площадь ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ .

На непроницаемых поверхностях задается условие изоляции/симметрии

$$\vec{n} \cdot (k_{xyz} \nabla a + a \vec{V}) = 0. \quad (8)$$

На остальных границах задается граничное условие «конвективный поток»:

$$\vec{n} \cdot (-k_{xyz} \nabla a) = 0. \quad (9)$$

Для расчета вектора скорости  $\vec{V}$  ( $u; v; w$ ) в помещении используется система уравнений Навье – Стокса и теплопроводности в приближении Буссинеска – Обербека:

$$\begin{cases} \rho_0 \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho_0 (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \nabla [\eta (\nabla \vec{V} + \nabla \vec{V}^T) - p] + \rho_0 g [\beta_T (T - T_0) - 1], \\ \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla (\lambda \nabla T) + \rho c_p \vec{V} \nabla T = Q, \\ \nabla \vec{V} = 0, \\ \rho = p / (RT). \end{cases} \quad (10)$$

где  $\rho_0$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ , при некой равновесной температуре  $T_0$ , К;  $T$  – температура, К;  $\beta_T$  – коэффициент термического расширения воздуха,  $\text{К}^{-1}$ ;  $p$  – давление, Па;  $c_p$  – изобарная теплоемкость,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $Q$  – источник или сток тепла,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $R$  – газовая постоянная, для воздуха  $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Начальные условия для скорости и давления

$$\begin{cases} \vec{V}(t=0) = 0, \\ p(t=0) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

На непроницаемых поверхностях (стенах) для скорости задается граничное условие прилипания (Wall)

$$\vec{V} = 0. \quad (12)$$

На входной границе (Inlet) задается условие для скорости движения воздуха. В соответствии с [9], допуская, что приток наружного воздуха в помещение является равномерным через весь оконный блок, скорость движения воздуха на входной границе можно найти по формуле

$$V_i = \Delta p / \rho_n R_u. \quad (13)$$

Скорость поступления приточного воздуха принимается равномерной по всей площади оконного блока и определяется как

$$I = nV_{\text{пом}}/S. \quad (14)$$

Учет удаления воздуха из помещения задается с помощью граничного условия Outlet

$$p = 0. \quad (15)$$

Для расчетов поля температур задается начальное условие температуры  $T(t=0) = 249,15 \text{ К}$ .

Учет радиационного теплообмена между внутренними поверхностями стен и источником тепла осуществляется методом сальдо с помощью граничного условия

$$-\vec{n} \cdot (-\lambda \nabla T) = \varepsilon \left( \frac{J_0 - \varepsilon \sigma T^4}{1 - \varepsilon} - \sigma T^4 \right), \quad (16)$$

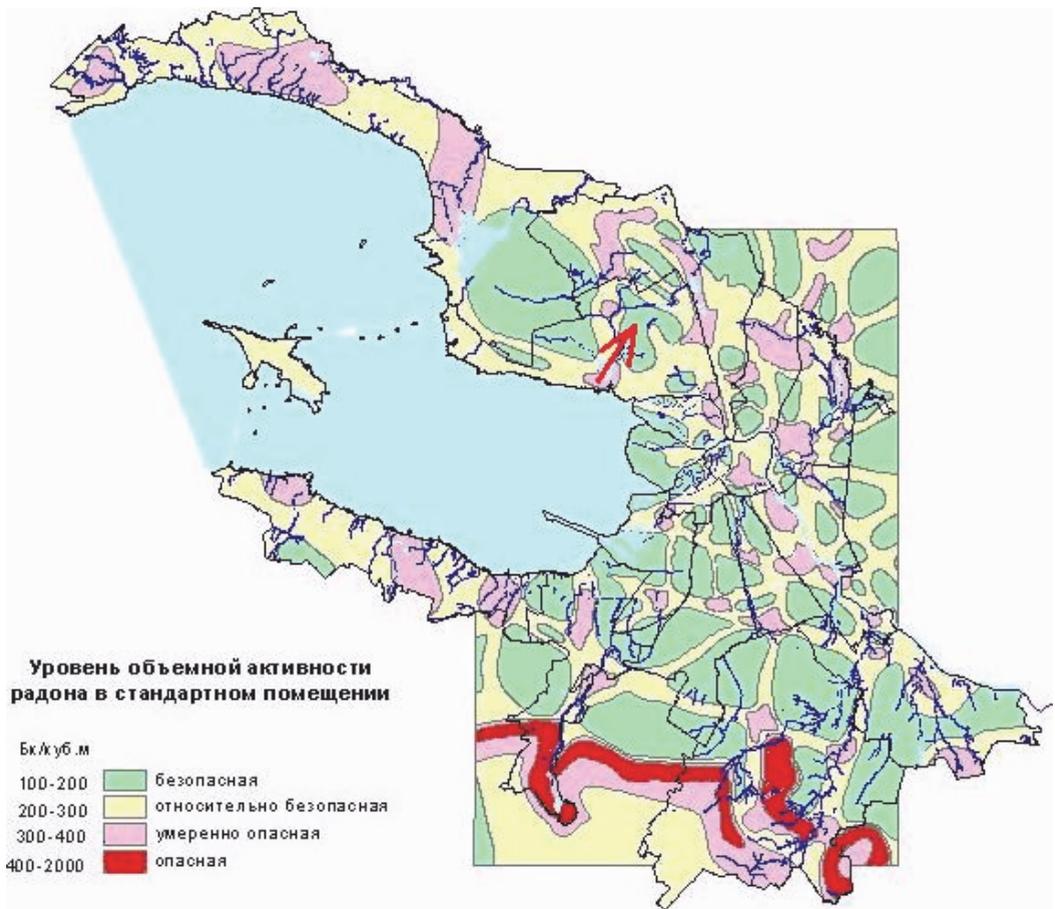
где  $\vec{n}$  – нормальный единичный вектор к граничной поверхности, направленный наружу от граничной области;  $\varepsilon$  – степень черноты поверхности;  $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} / \text{К}^4$  – константа Стефана – Больцмана;  $J_0$  – радиационный поток, поступающий в помещение,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Для учета теплообмена с внешней средой на наружной поверхности стен здания задается условие конвективного и радиационного теплового потока

$$-\vec{n} \cdot (-\lambda \nabla T) = \alpha_n (T_{\text{inf}}), \quad (17)$$

где  $T_{\text{inf}}$  – температура наружного воздуха, К;  $\alpha_n$  – коэффициент конвективно-теплообмена для наружного воздуха,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , определяемый по [8] (в величину  $\alpha_n$  уже заложен учет влияния радиационного теплообмена).

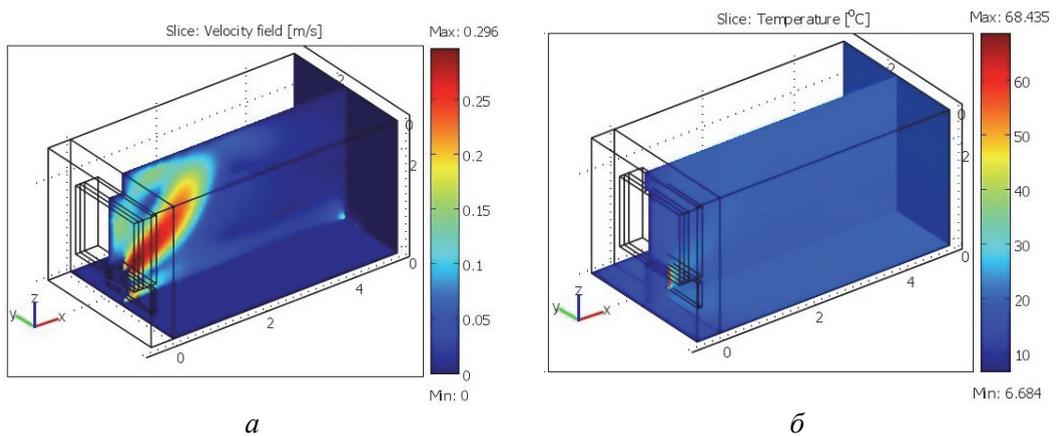
Постановка задачи принята стационарной, ее решение выполняется с использованием метода установления. Программная реализация модели выполнена в среде Comsol Multiphysics 3.5a для комнаты площадью  $17 \text{ м}^2$ , расположенной на первом этаже многоквартирного дома в Приморском районе Санкт-Петербурга. Месторасположение дома указано стрелкой на карте уровня объемной радона в стандартном помещении (рис. 1).



**Рис. 1.** Месторасположение дома на карте уровня объемной активности радона в стандартном помещении  
**Figure 1.** The location of the home on the map of the radon volume activity level in a standard room

## Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены результаты расчетов скорости движения воздуха и температуры в исследуемом помещении.



**Рис. 2.** Результаты расчетов скорости движения воздуха (а), м/с, и температуры в исследуемом помещении (б), °С

**Figure 2.** Results of calculations of air velocity (а), m/s, and temperature in the room under study (б), °C

На рис. 3 приведены результаты расчета удельных активностей радона-222 в исследуемом помещении.

Анализируя результаты расчетов, можно прийти к выводу, что наиболее «опасным» в помещении является пространство вблизи дверного проема, особенно на уровне пола, в силу организации воздухообмена в помещении, а также того, что радон-222 тяжелее воздуха и имеет относительно низкое значение коэффициента молекулярной диффузии.

Расчетная удельная активность радона-222 менее чем в 2 раза превышает среднегодовую эквивалентную равновесную объемную активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе помещений ЭРОА = 100 Бк/м<sup>3</sup> [10]. Тем не менее возможно и целесообразно уменьшить активность радона-222 в помещении с помощью увеличения кратности воздухообмена.

Требуемую кратность воздухообмена  $n_{тр}$ , с<sup>-1</sup> можно найти как [8]

$$n_{тр} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i s_i}{V_{пом}(a - a_{тр} - a_{ф})}, \quad (18)$$

где  $I_i$  – эмиссия радона-222 с  $i$ -ой ограждающей конструкции, имеющей площадь  $s_i$ , м<sup>2</sup>;  $V_{пом}$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;  $n_{тр}$  – требуемая активность (ЭРОА) радона-222 в помещении.

В частности, для нашего примера требуемую кратность воздухообмена следует повысить до  $n_{тр} = 1,96 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>, что почти в 12 раз выше нормативной. Единственный наиболее простой и доступный способ увеличения воздухообмена в помещении – это регулярное проветривание.

### Заключение

Разработана методика, позволяющая выполнить расчет радиационной активности радона на основе математического моделирования при проектировании жилых зданий. Ее использование позволяет выявить наиболее радиационно «опасные» места в помещении, рационально организовать воздухообмен и конфигурацию помещения, предупредить развития «синдрома большого здания», вызванного ошибками проектирования, что представляет практическую значимость в решении задач экологической безопасности, зеленого строительства, гигиены.

### Список литературы

[1] Darby S., Hill D., Doll R. Radon : a likely carcinogen at all exposures // Annals of Oncology Journal. 2001. Vol. 12. No. 10. P. 27.

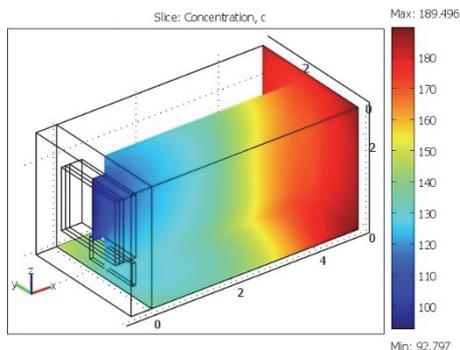


Рис. 3. Результаты расчета удельных активностей радона-222 в исследуемом помещении, Бк/м<sup>3</sup>  
 Figure 3. Results of calculation of specific activity of radon-222 in the studied room, Bq/m<sup>3</sup>

- [2] СП 321.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования противорадоновой защиты.
- [3] *Васильев А.В.* Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2014. 116 с.
- [4] *Яковлева В.С.* Полевой метод измерения коэффициента диффузии радона и торона в грунте // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2014. № 1 (8). С. 81–85.
- [5] *Муратова Г.В., Глушанин М.В.* Исследование процессов переноса, диффузии и трансформации радиоактивных примесей, поступающих в атмосферу при авариях на объектах энергетики // Вычислительные технологии. 2009. Т. 14. № 2. С. 1–13.
- [6] *Крисюк Э.М.* Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 120 с.
- [7] *Keller G., Hoffman B., Feigenspan T.* Radon permeability and radon exhalation of building materials // *Radon in the Living Environment*. Athens, 1999. Pp. 1271–1278.
- [8] СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
- [9] СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением № 1).
- [10] СанПиН 2.6.1.2523–09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

## References

- [1] Darby S, Hill D, Doll R. Radon: a likely carcinogen at all exposures. *Annals of Oncology Journal*. 2001;12(10):27.
- [2] SP 321.1325800.2017. *Residential and public buildings. Radon protection design rules*. (In Russ.)
- [3] *Vasilev AV. Radon safety of modern multi-storey buildings* (Dissertation of the Candidate of Technical Sciences). Ekaterinburg; 2014. (In Russ.)
- [4] *Yakovleva VS.* Field method for measuring the diffusion coefficient of radon and toron on in the ground. *Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences*. 2014;1(8): 81–85. (In Russ.)
- [5] *Muratova GV, Glushanin MV.* Investigation of the processes of transfer, diffusion and transformation of radioactive impurities entering the atmosphere during accidents at energy facilities. *Computational Technologies*. 2009;14(2):1–13. (In Russ.)
- [6] *Krisyuk EM. The radiation background of the premises*. Moscow: Energoatomizdat Publ.; 1989. (In Russ.)
- [7] *Keller G, Hoffman B, Feigenspan T.* radon permeability and radon exhalation of building materials. *Radon in the Living Environment*. Athens; 1999. p. 1271–1278.
- [8] SP 60.13330.2012. *Heating, ventilation and air conditioning. Updated edition of SNiP 41-01-2003*. (In Russ.)
- [9] SP 50.13330.2012. *Thermal protection of buildings. Updated edition of SNiP 23-02-2003 (with Amendment No. 1)*. (In Russ.)
- [10] SanPiN 2.6.1.2523–09. *Radiation safety standards NRB-99/2009*. (In Russ.)

## Сведения об авторах:

*Сауц Артур Валерьевич*, кандидат технических наук, доцент, кафедра маркетинга и социальных коммуникаций, Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики. eLIBRARY SPIN-код: 5191-0602. E-mail: art\_88@bk.ru

*Сауц Валерий Николаевич*, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии, организации и экономики строительства, Военный институт (инженерно-технический), Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. E-mail: sauc\_valerii@mail.ru

**Bio notes:**

*Artur V. Sauts*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Marketing and Social Communications, Saint Petersburg University of Management Technologies and Economics. eLIBRARY SPIN-code: 5191-0602. E-mail: art\_88@bk.ru

*Valery N. Sauts*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technology, Organization and Construction Economics, Military Institute (Engineering and Technical), Military Academy of Material Logistics named after General of the Army A.V. Khrulev. E-mail: sauc\_valerii@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ  
ENVIRONMENTAL EDUCATION

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-370-380

UDC 503.37:371.3

Scientific article / Научная статья

**Ecological consciousness of the XXI century human  
and the ways of its verbalization  
in the media discourse environment**Alla V. Guslyakova<sup>1,2</sup>, Nina I. Guslyakova<sup>3</sup>✉, Nailya G. Valeeva<sup>1</sup><sup>1</sup>*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),  
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*<sup>2</sup>*Moscow State Pedagogical University,  
1 Malaya Pirogovskaya St, bldg 1, Moscow, 119435, Russian Federation*<sup>3</sup>*South Ural State Humanitarian Pedagogical University,  
69 Prospekt Lenina, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation*✉ [guslyakovani@cspu.ru](mailto:guslyakovani@cspu.ru)

**Abstract.** The paper aims at studying and analyzing the language implementation of the development of people's ecological consciousness in the present-day Russian and English-speaking media discourse environment. The modern media discourse has become an important source of various environmental lexical units which can affect people's consciousness and change their behavior in a more eco-friendly way. The research is based on two parallel and opposite scientific approaches integrated in the media discourse which are ecologisation and anthropocentrism. The study is built on the analysis of the language models of ecological issues in different popular national and international media editions of Russia and English-speaking countries; in TV documentaries; on YouTube channels; in eco-friendly bloggers' speeches and texts. The findings of the research showed that the media discourse environment is actively inculcating "green" ideas into people's consciousness today both in Russia and abroad. More people are trying to follow the conscious consumption lifestyle. The media language is also becoming an important tool in introducing new environmental lexical units – neologisms – which are easily disseminated in the media discourse space and are actively being adopted by society. Overall, this research has confirmed the idea that the present-day language of the media discourse space is a powerful mediator of a new life sustainable development philosophy which helps human consciousness evolve in an eco-friendly way and try to make our planet a safer, healthier and more comfortable place for living.

**Keywords:** ecological consciousness, verbalization, lexical units, media discourse space, Russian media, English-speaking media, the third millennium civilization

**Article history:** received 13.10.2020; revised 25.10.2020.

© Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G., 2020



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

**For citation:** Guslyakova AV, Guslyakova NI, Valeeva NG. Ecological consciousness of the XXI century human and the ways of its verbalization in the media discourse environment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):370–380. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-370-380>

## Экологическое сознание человека в XXI веке и способы его вербализации в медиадискурсивном пространстве

А.В. Гуслякова<sup>1,2</sup>, Н.И. Гуслякова<sup>3</sup>✉, Н.Г. Валеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов,  
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

<sup>2</sup>Московский педагогический государственный университет,  
Российская Федерация, 119435, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1

<sup>3</sup>Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,  
Российская Федерация, 454080, Челябинск, пр-кт Ленина, д. 69

✉ [guslyakovani@cspu.ru](mailto:guslyakovani@cspu.ru)

**Аннотация.** Исследование ориентировано на изучение и анализ языковой репрезентации развития экологического сознания людей в современном русскоязычном и англоязычном медиадискурсивном пространстве. Сегодня медиадискурс – важный источник различных лексических единиц, характеризующих экологию и окружающую среду, которые могут оказывать влияние на сознание людей и корректировать их «экологическое» поведение. Рассматривается два параллельных и одновременно противоположных научных подхода, функционирующих в современном российском и зарубежном медиадискурсе, – экологизация и антропоцентризм. Исследование строится на анализе языковых экологических моделей, имплементированных в разнообразных национальных и международных СМИ России и англоязычных стран, в документальных фильмах, на видеохостинге YouTube, в выступлениях и текстах «экологических» блогеров. Результаты исследования продемонстрировали активное внедрение зеленых идей посредством медиадискурса как в России, так и за рубежом. Все больше людей пытаются вести сознательно здоровый образ жизни, избегая чрезмерного потребления. Кроме того, медиадискурс также становится важным инструментом экологических неологизмов, которые легко распространяются в медиапространстве и успешно интегрируются в российский и англоязычный обществе. В целом исследование подтвердило научное предположение о том, что современный медиадискурс является активным сподвижником новой философии устойчивого развития, которая помогает человеческому сознанию развиваться в более экологически дружественном направлении и стремиться сделать нашу планету безопасной, здоровой и комфортной для проживания человека XXI века.

**Ключевые слова:** экологическое сознание, вербализация, лексическая единица, российский медиадискурс, англоязычный медиадискурс, цивилизация третьего тысячелетия

**История статьи:** поступила в редакцию 13.10.2020; принята к публикации 25.10.2020.

**Для цитирования:** *Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G.* Ecological consciousness of the XXI century human and the ways of its verbalization in the media discourse environment // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 370–380. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-370-380>

## Introduction

In the present-day world ecology has become one of the most essential issues for discussion. Ecology is concerned with understanding the complexities involved in the relationships between organisms, from individuals through populations and communities to species and the biosphere, with their total environment [1]. The way in which human civilization will go further, how it will be able to cope with the difficulties arising from the current environmental situation, directly depends on people's attitude to this issue, that is from their environmental awareness. In recent years global public concern over ecological problems and technological risks has grown considerably. These concerns for the environment have become more or less institutionalized in different fields of action: research and politics, economic management, product advertisement, education and, last but not least, private life. The ecological discourse has generated new perspectives on problems, new institutional forms of problem resolution and new standards of an “ecological correctness” [2]. These environmental standards are actively represented by the contemporary media discourse environment. The media have a huge impact on people's life. Mass communication has always played a crucial role in connecting the world to an individual, and provided opportunity for the individual to communicate with a wider audience on different significant problems including the relationship between people and the environment. Nowadays when breakthrough advanced digital technologies are revolutionizing human life on the planet, the media discourse environment is actively exploiting them to make people voice their opinions on making the planet a more sustainable place to live. The news about different ecological projects or events spread like wildfire in the media discourse environment. The key concepts of “being green”, living in “green buildings”, eating “green food” can be seen in social media networks and on YouTube channels. Hence, we may assume that the media discourse is becoming an instrument to promote environmental awareness among the population and making impact on people's ecological consciousness. Thus, the main goal of this study is to perceive and analyze how the media discourse space affects human ecological consciousness and make it develop constructively. We hypothesize that the present-day media discourse has special triggers – lexical units related to the environmental issues, the perception of which produces changes in human comprehension of nature and ecological challenges in the 21st century.

The analysis of the ecological verbalized phenomenon in the media discourse environment suggests the following objectives to set and solve:

- 1) to consider the influence of media discourse environment on the life of society and people's environmental consciousness;
- 2) to study the relationship between language and environmental consciousness;
- 3) to conduct a comparative analysis of the lexical units dedicated to the environmental problems in Russian and English-speaking media discourse space which produce a positive as well as negative effect on people's ecological consciousness.

## Materials and methodology

***Media discourse and people's environmental consciousness.*** Present-day media discourse space enables people all over the world to interact and learn from each other at a tremendous pace. Any object of reality today began to be recorded

by consciousness as a media resource “encrypted” in the space surrounding a person, that is, from the point of view of not only its cultural and everyday purpose, but also its technological ability to be a media and its media potential [3]. New forms of communication, with the help of new media, have not only brought people but also communities together, thus contracting the globe into a village [4].

The outcome of such a change caused a major shift in the individual’s attitude and outlook towards the social fabric and cultural setting that underpinned the essential values and convictions deeply held by the individuals and society at large. The development of new information technologies has entailed a powerful impact on human consciousness. As a result, there is a formation of a stable dependence of a person on information technology. “Technologies overlap a person’s intellectual environment – the way he thinks and looks at the world” [5]. Thus, the media discourse space of a current epoch has invaded all spheres of society: politics, economics, art, science, sports, everyday life.

One of the most actual topics which is actively being discussed in the media discourse space at the current moment is ecology and environmental issues. The media discourse plays a crucial role as a source of information, in encouraging knowledge and concern about nature and environmental problems. Presumably, the more informed the public is about ecology and sustainable development the more likely they will be to support politicians and policies committed to environmental protection. Therefore, it is crucial to investigate mass media contributions to the formation of public environmental consciousness [6]. It is also important to notice that a significant part of this contribution is based on the ability of the new media discourse to verbalize ecological concepts which affect people’s consciousness and change their behavior in a more eco-friendly way. And the language of the media discourse possesses “an authoritative voice” which is not only a projection of people’s ideas about the future development of society and an individual, but also becomes an active agent of influence on society and human nature itself [7].

***Media language and environmental consciousness: relationship and interaction.*** Language is a social phenomenon and therefore is constantly influenced by society, and in its turn influences social reality. Language construes the world [8] and its impact on society is possible also because of energy contained in words as nominative units of language. Words and elements of social reality are connected not only in terms of content but also in terms of structure; they show a connection to social phenomena behind them, which reveals the nature of their interaction. Names possess a performative power (symbolic power; ability to become reality while being pronounced) [9] and this power is actively implemented in the modern media discourse and what is more important in the media language itself.

One of the most crucial concepts today introduced in the media language is the idea of sustainable development of the planet. The world is obsessed with eco-friendly philosophy and lifestyle. Thus, the media language is being actively enriched with a lot of ecological terms, notions and neologisms (e.g. respecting the environment, bio-diversity, sensitive areas of the world, environmental data, etc.). Such “deep ecologisation” [8] of the media language affects its another important phenomenon which is anthropocentrism, that is the representation of the world from the point of view of humans [Ibid.]. In our opinion, the interaction between

these two phenomena – ecologisation and anthropocentrism – in the language makes a significant impact on a person’s environmental consciousness. Then the question is – what is meant by ecological (environmental) consciousness?

In general terms the ecological consciousness is understood as a reflection of the psyche of a variety of man's relationship with nature, which mediate its behavior in the “natural world”, and express axiological position of the subject of consciousness in relation to the natural world [10]. The most important matter in the definition of the notion “ecological consciousness” is that it is based on the anthropocentric and ecocentric approaches which are regarded by a number of researchers in the opposition towards each other [Ibid.]. The emphasis on one or the other of these components often depends on the specific situation of environmental risk, requiring the adoption of a decision [11; 12]. Nevertheless, both of these aspects of the ecological consciousness are integrated and reflected in the media discourse space by means of different language features. Since “words are singularly the most powerful force available to humanity and people can choose to use this force constructively with words of encouragement, or destructively using words of despair [13], the words dedicated to the actual ecological problems and represented in the language of the media, have energy and power to make changes in a person’s consciousness about his perception of the nature and the environment. In the paragraph below our study will represent the findings of the research on how verbalization of the environmental issues may affect the human ecological consciousness.

## Results

The data were collected in both Russian and English-speaking media discourse environment. The study covered the statistics on the representation of the ecological information in the most powerful search engines – Yandex and Google. The analysis of the research scoped the ecological lexical units introduced in the most popular national and international media editions of Russia and the English-speaking world (Great Britain, the USA, Canada, Australia and New Zealand) which are *Komsomolskaya Pravda*, *Arguments and Facts*, *Kommersant*, *Rossiyskaya Gazeta*, *Novaya Gazeta* (Russian Federation); *BBC*, *The Guardian*, *The Daily Mail*, *The Telegraph*, *The Independent*, *The Economist* (The United Kingdom); *CNN*, *The New York Times*, *The Los Angeles Times*, *The Washington Post*, *The USA Today* (The USA); *The Toronto Star*, *The National Post*, *The Vancouver Sun* (Canada); *The Australian*, *The Canberra Times*, *The Sydney Morning Herald* (Australia); *The New Zealand Herald*, *Auckland Star*, *The Press* (New Zealand). We also analyzed 100 different ecological documentaries and videos posted on a YouTube channel and released by the above mentioned media editions; Russian and English-speaking TV channels as well as eco-bloggers and influencers.

The results of our study showed that the main goal of the media discourse is to provide information to the ecological society through the dissemination of information about environmental problems and their solutions. “We are full of bright ideas to solve ecological problems. So let’s act on them. There is hope in the face of environmental crises. But we must all – farmers, citizens, politicians – embrace change” [14].

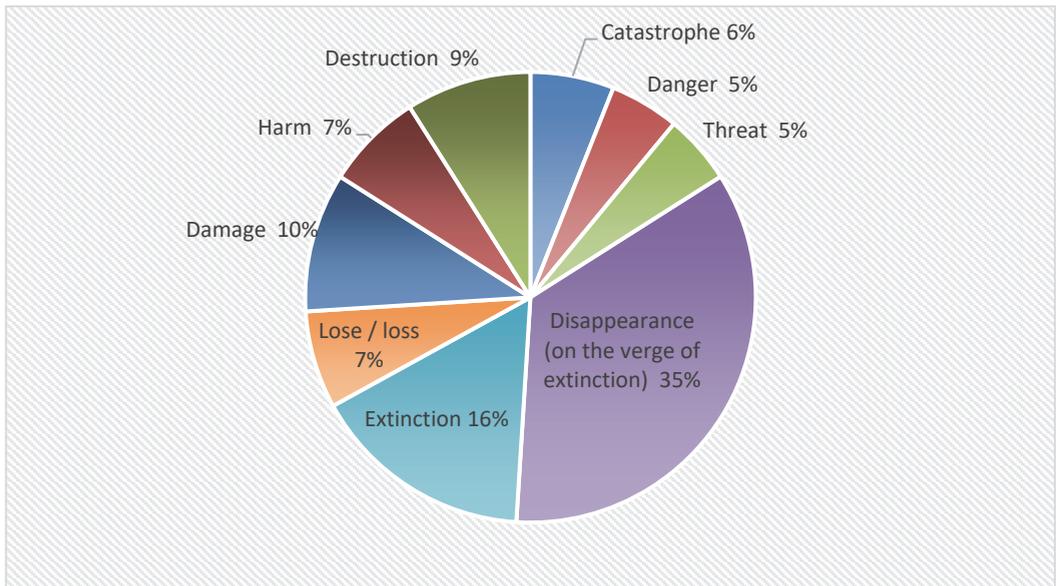
Within the framework of the media discourse dedicated to multiple environmental problems, a large number of lexical means are used to disseminate information. They all carry a certain message and have the task of influencing the reader's consciousness. According to the purpose of the statement and the expected result of the impact, all vocabulary can be attributed to the corresponding clusters:

1) the personification of nature/planet, the expression of the attitude towards it, as to a living being;

2) condemnation of human activities that have a negative impact on the environmental situation in the world;

3) call for humanity to lead an ecologically correct lifestyle.

When discussing the negative consequences of human impact on the world in which we live, the following words and phrases prevail in the Russian media discourse environment (see Figure 1).



**Figure 1.** Lexical units characterizing natural disasters in the Russian media discourse space

For example, “Основной причиной *экологической катастрофы* на Камчатке могли стать токсичные водоросли. Об этом заявил директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН Алексей Озеров, слова которого приводит пресс-служба регионального правительства” (The main cause of the *ecological catastrophe* in Kamchatka could be toxic algae. This was stated by the director of the Institute of Volcanology and Seismology of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences Alexei Ozerov, quoted by the press service of the regional government) [15].

“Множество исследований показывает, что наша разогревающаяся планета вплотную приблизилась к шестому *массовому вымиранию*” (A lot of research shows that our warming planet is close to the *sixth mass extinction*). [16].

It is also important to pay attention to such a lexical unit as “ecoterrorism”. This term has two meanings. The first one is “acts or threats of acts of a violent character committed by radical eco-activists and ‘green’ groups against individuals

or companies that, in their opinion, are guilty of environmental crimes (eco crimes)”. The purpose of such actions is to both damage and change the public consciousness, namely, to draw people’s attention to environmental problems in order to contribute to their solution. The second meaning is “a crime against nature, deliberate damage to the environment on a large scale, its pollution and destruction”. In the present-day media discourse, the term “ecoterrorism” is often used with the second meaning.

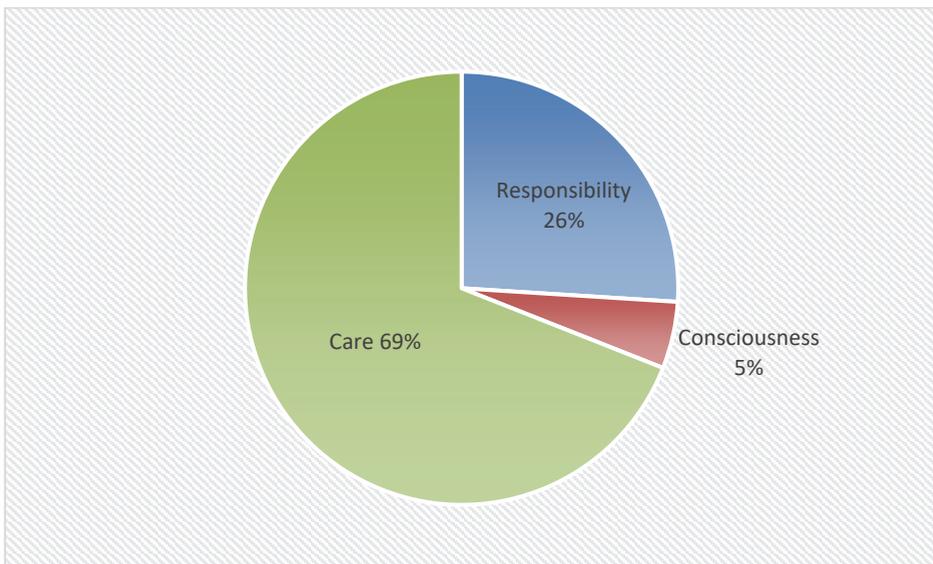
For example, “Казалось бы, совсем недавно власти приостановили работу главного ‘экологического террориста’. Так откуда тогда исходят выбросы, если источник ликвидирован?” (It would seem that quite recently the authorities suspended the work of the main “*environmental terrorist*”. So where do the emissions come from if the source is eliminated?) [17].

Within the cluster of words urging humanity to lead an ecologically friendly lifestyle, several groups of words can also be distinguished in the Russian media discourse space. For example: осознанность/осознанный (mindfulness/conscious) (20%); ответственность/ответственный (responsibility/responsible) (22%); беречь/берегающий (protect/careful) (20%); этика/этичный (ethics/ethical) (18%); разумность/разумный (reasonableness/reasonable) (20%).

For example, “Осознанное потребление в моде” (*Conscious consumption in fashion*) [18].

“Соблюдение норм этики и защиты экологии предполагают перемены” (*Compliance with ethics and environmental protection means change*) [19].

As for the English-speaking media discourse environment which inspires people to lead a more eco-friendly lifestyle, one should pay attention to such lexical concepts as *responsibility* (1,080,000,000 Google results), *consciousness* (360,000,000 Google results) and *care* (8,460,000,000 Google results) (Figure 2).



**Figure 2.** Lexical units characterizing individual's eco-friendly attitude to the environment in the English-language media discourse space

For example, “Other *responsibilities* of the green police include raising awareness of environmental and waste management issues among the general public” [20].

“The judges said despite significant obstacles – many parks have been closed for long periods this year after bushfires in January – there was a wide variety to the high-quality entries. ‘Their images inspire us all to appreciate, *care for* and spend time in our national parks and nature reserves,’ the judges said” [21].

One of the most popular ecological concepts being promoted by the English-speaking media discourse space and making a positive impact on the development of human environmental consciousness is *freeganism*. Freeganism is an ideology of limited participation in the conventional economy and minimal consumption of resources, particularly through recovering wasted goods like food [22]. The word “freegan” is a portmanteau of “free” and “vegan” [23]. This concept is also actively promoted in different English-speaking TV programs and on a YouTube channel (5 days of Freeganism; Freeganism: living off trash; Freeganism – a solution to food waste, etc.).

In the Russian media discourse space this ideology is not promoted but one can come across some interesting news about this latest eco trend.

For instance, “Нечто подобное начертали на своем лозунге новоявленные американские ‘мусорщики’, именующие себя *фриганами*. Название своему движению поедатели отбросов состряпали путем слияния двух слов – ‘фри’ (free – свободный) и ‘виган’ (vegan – вегетарианец). По своей идеологии фриганы – антикапиталисты. Они глубоко презирают обьевшееся общество, страдающее от несварения желудка (Something similar was inscribed on their slogan by the newly-minted American “scavengers” who call themselves freegans. The garbage eaters concocted the name of their movement by merging two words – “free” and “vegan” (from vegetarian). Freegans are anti-capitalists. They deeply despise an overgrown society suffering from indigestion) [24].

How human ecological consciousness is going to evolve in the future directly depends on the next generations and on their actions. Therefore, it is important that each new generation possesses the correct environmental values. Thus, it is good news that children and adolescents today actively express their environmental position. In addition to the world famous Greta Thunberg, there are other young activists who are trying to draw the world's attention to existing environmental problems. Within the framework of this study, the Instagram pages of such young ecobloggers as: Isra Hirsi (@israhirsi), Licypriya Kangujam (@licypriyakangujam), Leah Namugerwa (@namugerwaleah), sisters Amy and Ella Meek (@kidsagainstplastic) were analyzed. They often use the words *climate* (*climate change*) and *plastic* in their text and video messages. Hence, we can assume that the modern generation sees the biggest environmental problem in climate change and the pollution of the planet with plastic waste. And it is with these dangers that they urge to primarily fight. Moreover, some of them use the lexemes already mentioned in our research above to describe ecological problems through the personification of nature, and censure human activity (e.g. *destroying*, *killing*, *dying (dead)*, *danger*, *disaster*). They also use the concepts *save* and *help* in relation to nature. Thus, young people would like to say that modern humankind must act for the good of the planet through ecological actions. Their posts focus on the discussions about their activities, environmental goals, plans and results they have achieved. They

often use such lexical concepts as *encourage*, *motivate* and *inspire*. Thus, with these young people's media activities, they motivate their subscribers to be active in environmental issues, and try to change this modern world for the better.

### Conclusion

Nowadays one of the most relevant and actively discussed topics in the media discourse environment is the problem of ecology, nature conservation and sustainable development on the planet. This is due to the fact that humanity today is facing a great number of ecological problems such as different types of pollution, deforestation, global warming, hunger and poverty, pure and clean water deficit, etc. To preserve the environment and stabilize the ecological situation, humans need to take active measures at present. Therefore, how humanity will react to these global problems and will be able to cope with all of them, largely depends on people's ecological consciousness.

Our research aimed at analyzing the role of lexical means used in the contemporary Russian and English-speaking media discourse space in the formation and development of human environmental consciousness.

Our findings revealed that there is a close relationship between language and a person's ecological consciousness as well as a significant role of the media discourse as an important source and influencer of multiple eco-friendly concepts, ideas and beliefs.

The study of the lexical tokens represented in the media discourse space demonstrated a great interest of the modern society in the discussion of environmental issues and constructive ways of their solution. This fact may indicate a significant step in the increase of people's environmental awareness both in Russia and abroad. Besides, new lexical units – ecological neologisms – are actively appearing in the media discourse today due to new breakthrough scientific achievements, the emergence of new information in the field of ecology, and, in principle, with the development of the ecological knowledge. This fact again testifies to the evolution of environmental consciousness in society.

Thus, we may conclude that the present-day media language as well as the media discourse environment itself have become a great trigger in the promotion of vital ecological values which influence the human understanding of themselves as an integral part of the third millennium civilization who must raise their ecological consciousness to preserve the planetary heritage of our ancestors and pass on a more sustainable ideology to future generations.

### References

- [1] Dale A, Hill SB. Biodiversity conservation: a decision-making context. In: Dale A, Robinson J. (eds.) *Achieving Sustainable Development*. Vancouver, BC: University of British Columbia; 1996. p. 97–118.
- [2] Brand K-W. Environmental consciousness and behaviour: the greening of lifestyles. In: Redclift MR, Woodgate G. (eds.) *The International Handbook of Environmental Sociology*. Edward Elgar Publishing; 1997. Available from: <https://www.elgaronline.com/view/9781858984056.00023.xml> (accessed: 08.10.2020).

- [3] Polonskiy AV. Cultural status of media text. *Media Linguistics*. 2016;1(11):7–18. (In Russ.) Available from: <https://medialing.ru/kulturnyj-status-medijnogo-teksta/> (accessed: 08.10.2020).
- [4] McLuhan M. *Understanding media: the extensions of man*. McGraw-Hill; 2003.
- [5] Milovzorova MN. Mass media as a tool for manipulation of consciousness. *Nauchnoye Mneniye*. 2014;(7):76–79. (In Russ.)
- [6] Maceviciute A. *The influence of the media on the development of publics environmental consciousness: case study of Lithuanian press*. Masters Thesis. Lund University; 2000. Available from: [https://www.lumes.lu.se/sites/lumes.lu.se/files/maceviciute\\_ausra.pdf](https://www.lumes.lu.se/sites/lumes.lu.se/files/maceviciute_ausra.pdf) (accessed: 01.10.2020).
- [7] Sergeychik YeM. New media: the revolution of consciousness. *Russian Journal of Philosophical Sciences*. 2016;(3):14–23. Available from: <https://www.phisci.info/jour/article/view/139/140> (accessed: 05.10.2020).
- [8] Graddol D. (ed.) Applied Linguistics for the 21st century. *The AILA Review 14*. 2001. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/14515194.pdf#page=55> (accessed: 05.10.2020).
- [9] Khrypchenkova Fischer O. *Language and environmental consciousness of society: the situation in Russia*. Available from file:///D:/Downloads/KhrypchenkovaSept2015 Final%20(6).pdf (accessed: 30.09.2020).
- [10] Panov VI. Ecological thinking, consciousness, responsibility. *V Congress of Russian Psychological Society. Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013;86:379–383. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813027146?via%3Dihub> (accessed: 03.10.2020).
- [11] Deryabo SD, Yasvin VA. *Ecological pedagogy and psychology*. Rostov-on-Don; 1996. (In Russ.)
- [12] Panov VI. *Ecological psychology: experience of construction methodology*. Moscow; 2004. (In Russ.)
- [13] Zahed H. The power of spoken words. *HuffPost*. 15th December 2014. Available from: [https://www.huffpost.com/entry/the-power-of-spoken-words\\_b\\_6324786#:~:text=%E2%80%9CWords%20are%20singularly%20the%20most,to%20humiliate%20and%20to%20humble.%E2%80%9D4.Conclusions](https://www.huffpost.com/entry/the-power-of-spoken-words_b_6324786#:~:text=%E2%80%9CWords%20are%20singularly%20the%20most,to%20humiliate%20and%20to%20humble.%E2%80%9D4.Conclusions) (accessed: 06.10.2020).
- [14] Packham Ch. We are full of bright ideas to solve ecological problems. So let's act on them. *The Guardian*. 6th May 2019. Available from: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2019/may/06/ecological-problems-environmental-crises-farmers-citizens-politicians> (accessed: 07.10.2020).
- [15] RAS: toxic algae could lead to ecological disaster in Kamchatka. *Novaya Gazeta*. 11th October 2020. (In Russ.) Available from: <https://novyagazeta.ru/news/2020/10/11/164841-ran-k-ekologicheskoy-katastrofe-na-kamchatke-mogli-privesti-toksichnye-vodorosli> (accessed: 06.10.2020).
- [16] Radov Z. By the middle of the century, the number of animals on Earth will sharply decrease. *Komsomol'skaya Pravda*. 7th August 2015. (In Russ.) Available from: <https://www.dv.kp.ru/daily/26416/3290112/> (accessed: 30.09.2020).
- [17] Milenina Yu. Stop ecoterrorism! Omsk people continue to poison with harmful emissions. *Argumenty i Fakty*. 31st July 2019. (In Russ.) Available from: [https://omsk.aif.ru/health/ostanovit\\_ekoterrorizm\\_omichay\\_prodolzhayut\\_travit\\_vrednymi\\_vybrosami](https://omsk.aif.ru/health/ostanovit_ekoterrorizm_omichay_prodolzhayut_travit_vrednymi_vybrosami) (accessed: 29.09.2020).
- [18] Conscious consumption is in fashion. How is Street Style week at VDNKh. 24<sup>th</sup> August 2019. (In Russ.) Available from: <https://www.mos.ru/news/item/60862073/> (accessed: 29.09.2020).
- [19] Minakova A. Compliance with the norms of ethics and environmental protection presupposes changes. *Kommersant*. 19th July 2019. (In Russ.) Available from: <https://www.kommersant.ru/doc/4034721> (accessed: 02.10.2020).
- [20] Kolb E, Stebbins S. Countries doing the most (and least) to protect the environment. *USA Today*. 14th July 2019. Available from: <https://www.usatoday.com/story/money/>

2019/07/14/climate-change-countries-doing-most-least-to-protect-environment/39534413/ (accessed: 02.10.2020).

- [21] Lindell J. Young photographers' eyes on environment celebrated. *The Canberra Times*. 11th October 2020. Available from: <https://www.canberratimes.com.au/story/6962679/young-photographers-eyes-on-environment-celebrated/?src=rss> (accessed: 14.10.2020).
- [22] Barnard A. *Freegans: diving into the wealth of food waste in America*. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press; 2016.
- [23] Wayne G. Among the new words. *American Speech*. 2004;79(2):194–200.
- [24] Dmitriyeva O. Trash haute couture. Dressing from a landfill has become fashionable not only in Moscow, but also in New York. *Rossiyskaya Gazeta*. 9th December 2005. (In Russ.) Available from: <https://rg.ru/2005/12/09/pomojki-pitanie.html> (accessed: 05.10.2020).

### **Сведения об авторах:**

*Гуслякова Алла Викторовна*, кандидат филологических наук, доцент, кафедра иностранных языков, экологический факультет, Российский университет дружбы народов; доцент, кафедра контрастивной лингвистики, Институт иностранных языков, Московский педагогический государственный университет. E-mail: [aguslyakova@bk.ru](mailto:aguslyakova@bk.ru)

*Гуслякова Нина Ивановна*, доктор психологических наук, профессор, кафедра технологии и психолого-педагогических дисциплин, естественно-технологический факультет, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогического университета. E-mail: [guslyakovani@cspu.ru](mailto:guslyakovani@cspu.ru)

*Валеева Наиля Гарифовна*, кандидат педагогических наук, профессор, заведующая, кафедра иностранных языков, экологический факультет, Российский университет дружбы народов. E-mail: [ngvaleeva@yandex.ru](mailto:ngvaleeva@yandex.ru)

### **Bio notes:**

*Alla V. Guslyakova*, PhD in Philology, Associate Professor, Department of Foreign Languages, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); Associate Professor, Department of Contrastive Linguistics, Institute of Foreign Languages, Moscow State Pedagogical University. E-mail: [aguslyakova@bk.ru](mailto:aguslyakova@bk.ru)

*Nina I. Guslyakova*, Doctor of Sciences (Psychology), Professor, Department of Technology and Psychological and Pedagogical Disciplines, Faculty of Science and Technology, South Ural State Humanitarian Pedagogical University. E-mail: [guslyakovani@cspu.ru](mailto:guslyakovani@cspu.ru)

*Nailya G. Valeeva*, PhD in Pedagogics, Professor, Head of the Department of Foreign Languages, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: [ngvaleeva@yandex.ru](mailto:ngvaleeva@yandex.ru)

## ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ENVIRONMENTAL DEFENCE

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-381-396

УДК 528.735

Научная статья / Scientific article

### Оценка точности геопозиционирования снимков в линейных проектах при различном количестве маршрутов

А.М. Елшештави<sup>1,2</sup>  , А.Н. Лимонов<sup>2</sup> ,  
Л.А. Гаврилова<sup>2</sup> , М.А. Елшеви<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> Университет Аль-Азхар,

Арабская Республика Египет, пров. Каир, Эль-Дарб эль-Ахмар, ул. Мохаммеда Абду, д. 15

<sup>2</sup> Государственный университет по землеустройству,

Российская Федерация, 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15

 [amrshesht82@gmail.com](mailto:amrshesht82@gmail.com)

**Аннотация.** В настоящее время для экологических исследований широко используются результаты фотограмметрической обработки снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), – ортофотопланы, цифровые модели рельефа и т. п. Такие материалы особенно актуальны и востребованы при экологическом мониторинге труднодоступных объектов. Кроме того, материалы съемки с БПЛА незаменимы при импактном мониторинге, когда проводятся наблюдение, оценка и прогноз состояния природной среды в районах расположения опасных и потенциально опасных (АЭС) источников антропогенного воздействия. Независимо от способа геопозиционирования снимков – прямого или косвенного – оценка точности созданного продукта выполняется по наземным контрольным точкам. Цель исследования – оценить точность фотограмметрических построений в зависимости от количества маршрутов при съемке с БПЛА линейных объектов и от количества опорных точек, используемых при косвенном геопозиционировании. Проведено пять групп экспериментов по три в каждой группе с различным количеством маршрутов (от одного до трех). Пять групп условно объединены в две секции. В первой секции использовались методы прямого и косвенного геопозиционирования с тремя локально расположенными опорными точками. Во второй секции использовался метод косвенного геопозиционирования с различным количеством опорных точек: шестью, двенадцатью и тридцатью четырьмя. Оценки точности различных тестов показали, что не всегда увеличение количества маршрутов ведет к повышению точности.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, одномаршрутная аэросъемка, двухмаршрутная аэросъемка, прямое геопозиционирование, косвенное геопозиционирование, наземные контрольные точки, точность геопозиционирования

© Елшештави А.М., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А., Елшеви М.А., 2020



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

**История статьи:** поступила в редакцию 11.09.2020; принята к публикации 30.09.2020.

**Для цитирования:** *Елиештави А.М., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А., Елишеви М.А.* Оценка точности геопозиционирования снимков в линейных проектах при различном количестве маршрутов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 381–396. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-381-396>

## Assessing the georeferencing accuracy of different amount of image stripes for linear UAV projects

Amr Mahmoud El Sheshtawy<sup>1,2</sup>  , Anatoly N. Limonov<sup>2</sup> ,  
Larisa A. GavriloVA<sup>2</sup> , Mohamed A. Elshewy<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>*Al-Azhar University,  
15 Mohammed Abdou St, El-Darb El-Ahmar, Cairo Governorate, Arab Republic of Egypt*

<sup>2</sup>*State University of Land Use Planning,  
15 Kazakova St, Moscow, 105064, Russian Federation*

 amrshesht82@gmail.com

**Abstract.** At present, the results of photogrammetric processing of images obtained from UAVs (orthophoto mosaics, digital elevation models, etc.) are widely used for environmental studies. Such materials are especially relevant and in demand for environmental monitoring of hard-to-reach objects. In addition, UAV survey materials are indispensable for impact monitoring, in which observation, assessment and forecast of the state of the natural environment in areas where hazardous and potentially hazardous (NPP) sources of anthropogenic impact are located are carried out. Regardless of the method of georeferencing of images – direct or indirect – the accuracy of the generated product is evaluated by ground control points. The purpose of this study is to assess the accuracy of photogrammetric constructions depending on the number of strips when surveying linear objects from UAVs and on the number of control points used in indirect georeferencing. Five groups of experiments were carried out during the study, three in each group with a different number of strips (from one to three). Five groups are conventionally combined into two sections. In the first section, direct and indirect georeferencing techniques were used with three locally located control points. In the second section, the method of indirect georeferencing was used with a different number of ground control points: six, twelve and thirty-four. Estimates of the accuracy of various tests have shown that an increase in the number of strips does not always lead to an increase in accuracy.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, single-strip aerial survey, two-strip aerial survey, direct georeferencing, indirect georeferencing, ground control points, georeferencing accuracy

**Article history:** received 11.09.2020; revised 30.09.2020.

**For citation:** El Sheshtawy AM, Limonov AN, GavriloVA LA, Elshewy MA. Assessing the georeferencing accuracy of different amount of image stripes for linear UAV projects. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):381–396. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-381-396>

### Введение

В последнее время аэрофотоснимки, получаемые с беспилотных летательных аппаратов, находят применение в различных областях хозяйственной деятельности, таких как управление природными ресурсами, пространствен-

ная экология, экологический мониторинг и т. п. [1–3]. Трехмерное (3D) моделирование окружающей среды с помощью цифровых фотограмметрических систем вызывает растущий интерес как в научной сфере, так и на производстве. В большинстве случаев информация, содержащаяся на снимках с БПЛА, требует геопространственной привязки. БПЛА, используемые в качестве носителей съемочной аппаратуры, должны обладать определенными характеристиками, которые следует учитывать при их разработке и применении.

Обычно разработка БПЛА начинается с выбора платформы, а также совместимых с ней съемочных систем и систем навигации. При выборе платформы необходимо учитывать грузоподъемность, дальность полета, степень автономности. В некоторых исследованиях используются предварительно укомплектованные БПЛА, например AscTec Falcon [4], Aeryon Scout [5], SenseFlyeBee [6]. Такие системы обеспечивают безопасность и простоту эксплуатации, однако менее гибки при выборе и настройке устанавливаемых на них цифровых съемочных систем.

Датчики навигации в БПЛА выполняют две функции: автопилотирование платформы и определение элементов внешнего ориентирования (ЭВО) изображений. Высококачественные инерциальные навигационные системы (INS) могут использоваться для исключения необходимости в наземных опорных точках и достижения достаточной пространственной точности посредством прямого геопозиционирования (DG) [7].

Однако системы потребительского уровня предпочтительнее, учитывая стоимость и ограничения доступа к базовым станциям, независимо от используемого метода: дифференциального или относительного по измерениям фазы несущей в режиме статики или кинематики, а также применения постобработки или определения координат в режиме реального времени [8; 9]. В таких системах могут быть приняты различные стратегии для повышения точности позиционирования, например замена некачественных данных GPS о высоте на измерения высоты с помощью барометрического альтиметра [10]. Точность прямого геопозиционирования зависит от технических характеристик компонентов INS и точности калибровки платформы. Кроме того, важна схема интеграции системы, поскольку она контролирует синхронизацию между датчиками изображения и навигацией. В зависимости от скорости полета и точности измерений INS задержка между моментом экспонирования и моментом определения ЭВО может вызвать серьезные отклонения позиционирования [7; 11].

В случае использования метода косвенного геопозиционирования особое внимание следует уделять таким факторам, как точность согласования изображений в нескольких ракурсах, самокалибровка камеры и точность определения координат опорных точек. Кратко обсуждаемый в нескольких исследованиях метод [10; 12; 13], используемый для определения местоположения опорных точек на изображениях, и конфигурация расположения опорных точек также являются важными факторами в определении окончательной точности косвенного геопозиционирования. Соответственно, оптимальное расположение опорных точек, необходимое для достижения определенного уровня точности, является серьезной проблемой при фотограмметрической обработке

снимков с БПЛА. Специализированное фотограмметрическое программное обеспечение для обработки снимков с БПЛА устанавливает минимальное количество опорных точек в специальной конфигурации и с ограниченной точностью позиционирования. Гарантия того, что основанные на этих условиях результаты могут удовлетворять требованиям заданной точности, обеспечивается наличием априорного знания окончательной точности.

Что касается датчиков изображения, цифровая камера видимого диапазона с высоким разрешением является ключевым элементом для фотограмметрического картографирования. Несмотря на преимущества неметрических цифровых камер, такие как низкая цена, легкий вес и высокое разрешение, нестабильность их объективов и креплений датчиков по-прежнему вызывает сомнения в целесообразности их использования при съемке с БПЛА. Следовательно, должна выполняться калибровка камеры для определения элементов внутреннего ориентирования (ИО) и параметров искажения идеальной центральной проекции. Когда требуется метрическая точность, рекомендуется автономная калибровка камеры [14]. Однако параметры офлайн-калибровки незначительно меняются во время полета из-за вибраций платформы и нестабильности компонентов камеры [15]. Решением этой проблемы является калибровка камеры путем включения ее систематических погрешностей в качестве дополнительных параметров к регулировке связки антенных блоков, известной как самокалибровка. Тем не менее погрешности измерения координат точек изображения могут повлиять на параметры калибровки, поскольку все они определяются вместе с неизвестными параметрами, такими как координаты связующих точек в пространстве объекта и элементы внешнего ориентирования (ЭВО) [16].

В работе проведено сравнение точности фотограмметрических построений в зависимости от количества маршрутов при съемке с БПЛА линейных объектов и от количества опорных точек, используемых при косвенном геопозиционировании.

## Материалы и методы

*Район проведения исследования.* Исследования проводились на научно-учебной базе Горное Государственного университета по землеустройству, расположенной на юге Московской области. Площадь съемки составляет  $900 \times 90$  м<sup>2</sup>.

*Материалы.* Аэрофотосъемка выполнялась с использованием БПЛА DJI PHANTOM 4 PRO (рис. 1). Была проведена трехмаршрутная аэрофотосъемка и получено 502 снимка. Длина каждого маршрута – 900 м. Высота картографирования около 30 м. Пространственное разрешение (SR) около 1 см. В исследовании использовались 34 опорные точки, равномерно распределенные группами по всей территории. Каждая группа состояла из трех опорных точек, группы были распределены через каждые 50–100 м вдоль маршрута (900 м). Расстояния между точками в каждой группе опорных точек составляли около 20 м по ширине маршрута (90 м). Три опорные точки (48-2, 50, 51), которые использовались в различных методах геопозиционирования, находились на

левом краю области исследования, как показано на рис. 2. Параметры калибровки камеры представлены в табл. 1. RTK-GNSS, двухчастотные GPS-приемники Trimble R4 использовались для определения координат наземных опорных точек. Для фотограмметрической обработки данных применялось программное обеспечение Agisoft PhotoScan Professional.



**Рис. 1.** БПЛА DJI PHANTOM 4 PRO  
**Figure 1.** UAV DJI PHANTOM 4 PRO



**Рис. 2.** Расположение маркированных опорных точек в районе исследования  
**Figure 2.** The distribution of ground control points on the study area

Таблица 1

**Параметры калибровки съемочной камеры**

Название съемочной камеры	FC220 (4,73 мм)
Главное фокусное расстояние	4,73 мм
Разрешающая способность	Ширина матрицы 4000 пикселей
	Ширина пикселя = 0,0016 мм
	Высота матрицы 3000 пикселей
	Высота пикселя = 0,0016 мм
Фокусное расстояние	$c = 4,6501$ мм
Координаты главной точки	$x_0 = 0,0305$ мм
	$y_0 = 0,0165$ мм
Коэффициенты радиальной дисторсии	$K1 = -8,31719e^{-004}$
	$K2 = -3,16310e^{-005}$
	$K3 = 3,91019e^{-006}$
Коэффициенты децентрирующего искажения	$P1 = 3,06539e^{-005}$
	$P2 = 1,40033e^{-004}$

Table 1

Camera calibration parameters	
Camera name	FC220 (4,73 mm)
Focal length	4.73 mm
Resolution	width = 4000 pixels
	pixel width = 0.0016 mm
	height = 3000 pixels
	pixel width = 0.0016 mm
Principal distance	$c = 4.6501$ mm
Principal point offsets	$x_0 = 0.0305$ mm
	$y_0 = 0.0165$ mm
Coefficients of radial distortion	$K1 = -8.31719e^{-004}$
	$K2 = -3.16310e^{-005}$
	$K3 = 3.91019e^{-006}$
Coefficients of decentering distortion	$P1 = 3.06539e^{-005}$
	$P2 = 1.40033e^{-004}$

Экспериментальные работы проводились для изучения влияния количества маршрутов в протяженных линейных проектах на точность геопозиционирования снимков, полученных с БПЛА и включенных в фотограмметрическую обработку. Результаты приведены в табл. 2. В разных группах тестов было различное количество опорных и контрольных точек, используемых для оценки точности, как показано на рис. 3.

Из табл. 2 и рис. 3 видно, что в методе прямого геопозиционирования (группа А) использованы данные о положениях съемочной камеры, полученные с помощью GPS-приемника, установленного на БПЛА, и все тридцать четыре наземные точки использовались в качестве контрольных.

Таблица 2

Исходные данные для оценки точности геопозиционирования снимков с БПЛА

Секции	Номер группы	Номер теста	Количество опорных точек	Количество контрольных точек	Количество маршрутов	Примечания
Первая	А	A1	0	34	1	Прямое геопозиционирование
		A2			2	
		A3			3	
	В	B1	3	31	1	Расположение опорных точек локально в начале маршрута
		B2			2	
		B3			3	
Вторая	С	C1	6	28	1	Распределение опорных точек равномерно по всей площади съемки
		C2			2	
		C3			3	
	D	D1	12	22	1	Распределение опорных точек равномерно по всей площади съемки
		D2			2	
		D3			3	
	E	E1	34	0	1	Использование всех опорных точек для косвенного геопозиционирования
		E2			2	
		E3			3	

Table 2

The various methods for studying the comparison of three UAV georeferencing techniques

Sections	Group ID	Test ID	Numbers of ground control points	Numbers of control points	Numbers of strips	Remarks
First	A	A1	0	34	1	Direct georeferencing
		A2			2	
		A3			3	
	B	B1	3	31	1	Distribution of ground control points only on one edge of project
		B2			2	
		B3			3	
Second	C	C1	6	28	1	Ground control points distribution on edges and middle of project
		C2			2	
		C3			3	
	D	D1	12	22	1	Ground control points distribution on edges and middle of project
		D2			2	
		D3			3	
	E	E1	34	0	1	Using of all ground control points
		E2			2	
		E3			3	



Группа В, проект с 3 опорными точками  
Group B using 3 ground control points



Группа С, проект с 6 опорными точками  
Group C using 6 ground control points



Группа D, проект с 12 опорными точками  
Group D using 12 ground control points

Рис. 3. Распределение опорных точек в исследуемой области в экспериментах групп В, С, D  
Figure 3. The distribution of ground control points in the study area in the tests of groups В, С, D

В методе косвенного геопозиционирования (группа E) использованы все тридцать четыре опорные точки для вычисления ЭВО-снимков.

В группах В, С и D часть маркированных наземных точек выступали опорными, а оставшиеся – контрольными. В группе В три опорные точки

были расположены группой в начале линейного объекта. В группах С и D шесть и двенадцать опорных точек были распределены равномерно вдоль всего линейного объекта.

Цель исследования – оценить точность фотограмметрических построений в зависимости от количества маршрутов при съемке с БПЛА линейных объектов и от количества опорных точек, используемых при косвенном геопозиционировании. Проведены фотограмметрические построения по снимкам одного, двух и трех маршрутов с использованием различного количества и распределения опорных точек вдоль объекта съемки (В, С, D), а также без использования опорных точек (А) – метод прямого геопозиционирования и с привлечением всех маркированных точек в качестве опорных (Е) для контроля точности – метод косвенного геопозиционирования.

Таким образом, проведено пять групп экспериментов для оценки точности геопозиционирования снимков на протяженный линейный объект при одно-, двух- и трехмаршрутной съемке в каждой группе.

Оценка точности выполнялась по остаточным расхождениям в координатах контрольных точек следующим образом:

$$VXi = XCi - XGi, \quad (1)$$

где  $VXi$  – остаточное расхождение в координате  $X$  точки  $i$ ;  $XCi$  – координата  $X$  точки  $i$  из уравнивания фототриангуляции;  $XGi$  – координата  $X$  точки  $i$  из GPS-наблюдений.

Среднеквадратическая погрешность  $Mx$  в координате  $X$  рассчитывалась по формуле (2)

$$Mx = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (VXi)^2}{n}}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество контрольных точек.

Аналогичные уравнения использовались для вычисления СКП в координатах  $Y$  и  $Z$  ( $My$  и  $Mz$  соответственно).

$$My = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (VYi)^2}{n}}.$$

$$Mz = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (VZi)^2}{n}}.$$

Таким образом, погрешность в плановых координатах вычислялась по формуле (3)

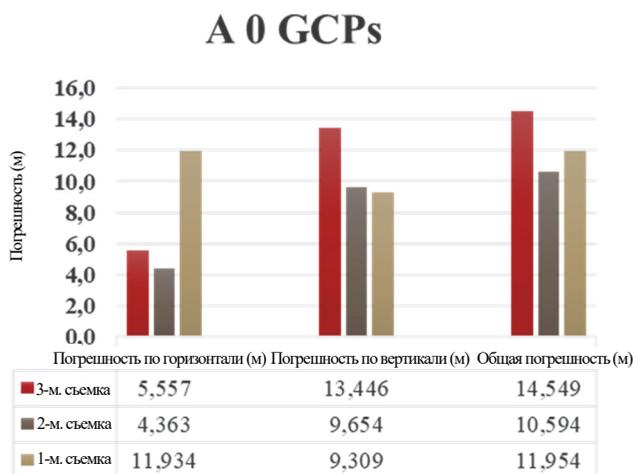
$$Horizontal\ Error = \sqrt{(Mx)^2 + (My)^2}. \quad (3)$$

Погрешность в планово-высотных координатах – общая погрешность – вычислена с использованием уравнения (4)

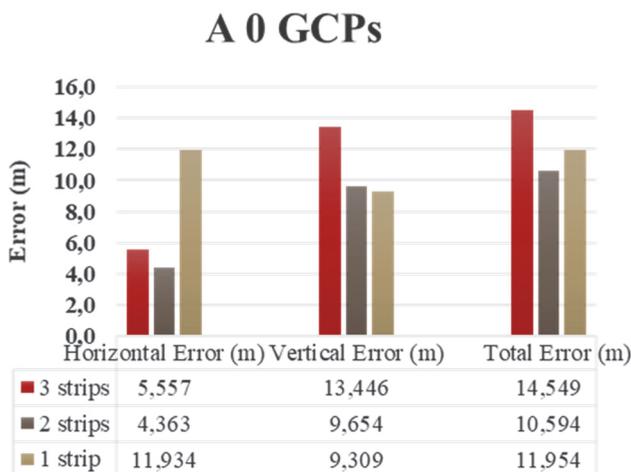
$$Total\ Error = \sqrt{(Mx)^2 + (My)^2 + (Mz)^2}. \quad (4)$$

## Результаты и их обсуждение

Метод прямого геопозиционирования (первая секция). Рис. 4 иллюстрирует оценку точности прямого геопозиционирования без привлечения опорных точек при максимальном количестве контрольных точек – 34 точки – для одно-, двух- и трехмаршрутной съемки. Необходимо отметить низкую точность прямого геопозиционирования при одномаршрутной съемке, достигающую 12 м в плановых координатах и 9 м в высотной координате. Точность плановых координат значительно улучшается при использовании снимков двух и трех маршрутов (4,3 м и 5,5 м соответственно).



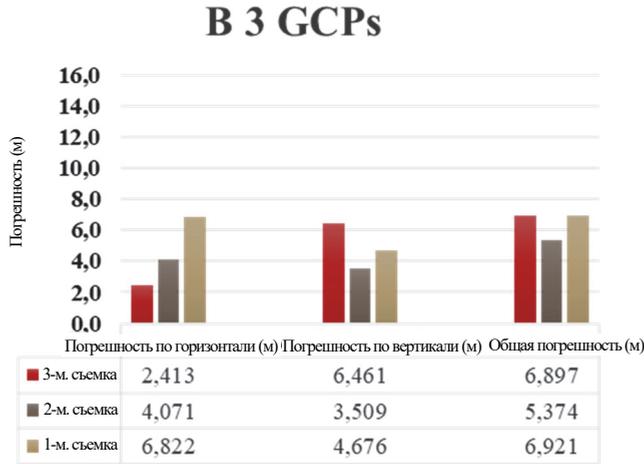
**Рис. 4.** Оценка точности прямого геопозиционирования в группе А при одно-, двух- и трехмаршрутной съемке



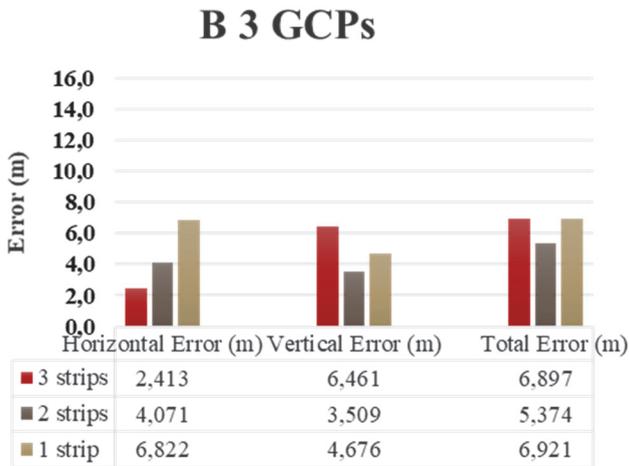
**Figure 4.** Georeferencing accuracy of using one, two, or three stripe in group A of tests

Результаты оценки точности прямого геопозиционирования позволяют сделать вывод, что погрешность в плановых координатах контрольных точек значительно снижается при использовании материалов двухмаршрут-

ной съемки в отличие от одномаршрутной, однако погрешность в высотных координатах практически не меняется с увеличением количества маршрутов. Тем не менее погрешности настолько велики, что создание планового материала по ним возможно лишь в масштабе более мелком, чем масштаб аэросъемки, а это не выгодно экономически и нецелесообразно.



**Рис. 5.** Оценка точности косвенного геопозиционирования в группе В при одно-, двух- и трехмаршрутной съемке



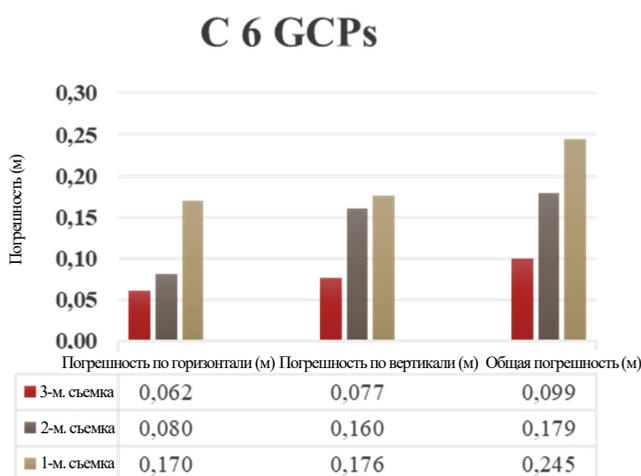
**Figure 5.** Georeferencing accuracy of using one, two, or three stripe in group B of tests

Рис. 5 иллюстрирует оценку точности косвенного геопозиционирования в группе В с расположением опорных точек локально в начале маршрута при максимальном количестве контрольных точек – 31 точка – для одно-, двух- и трехмаршрутной съемки. Общая погрешность в координатах контрольных точек незначительно различается при использовании снимков одного, двух или трех маршрутов и составляет около 7 м. Однако необходимо отметить улучшение точности в плановых координатах при увеличении ко-

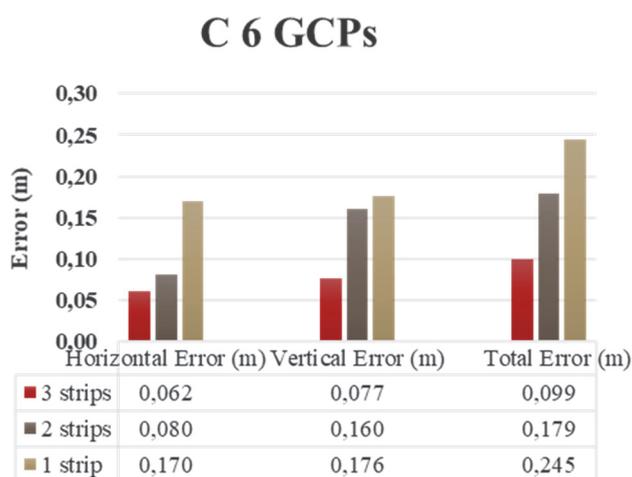
личества маршрутов от 6,8 м при одномаршрутной съемке до 2,4 м при трехмаршрутной съемке.

*Метод косвенного геопозиционирования (вторая секция).* В экспериментах второй секции (группы С, D) использовали метод косвенного геопозиционирования с различным количеством опорных точек, расположенных равномерно вдоль всего маршрута. Эксперименты в группе E проводились при использовании всех тридцати четырех маркированных точек в качестве опорных. На рис. 8 представлены результаты уравнивания фототриангуляционных построений в виде среднеквадратических отклонений в планово-высотных координатах тридцати четырех маркированных точек.

Анализ оценки точности косвенного геопозиционирования в экспериментах группы С с шестью равномерно расположенными опорными точками позволяет сделать вывод, что точность фототриангуляционных построений возрастает с увеличением количества маршрутов от 0,24 до 0,10 м (рис. 6).

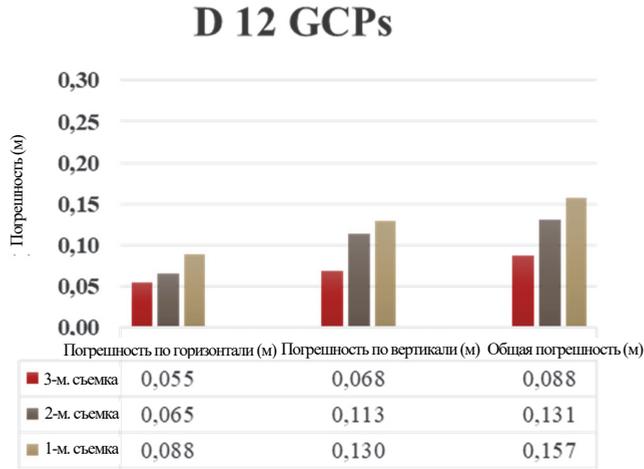


**Рис. 6.** Оценка точности косвенного геопозиционирования в группе С при одно-, двух- и трехмаршрутной съемке

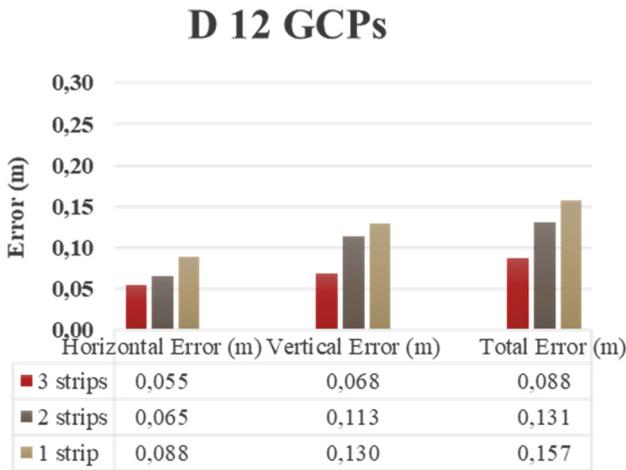


**Figure 6.** Georeferencing accuracy of using one, two, or three stripe in group C of tests

Схожие результаты наблюдаются при оценке точности в эксперименте в группе D с двенадцатью опорными точками (рис. 7). Однако увеличение количества опорных точек с шести до двенадцати привело к увеличению точности при одномаршрутной съемке почти вдвое: общее отклонение планово-высотных координат уменьшилось с 0,25 до 0,16 м. Улучшение точности для двух- и трехмаршрутной съемки практически не наблюдалось.

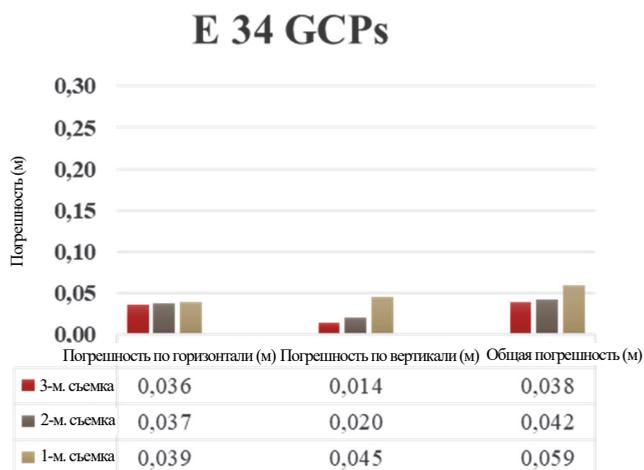


**Рис. 7.** Оценка точности косвенного геопозиционирования в группе D при одно-, двух- и трехмаршрутной съемке

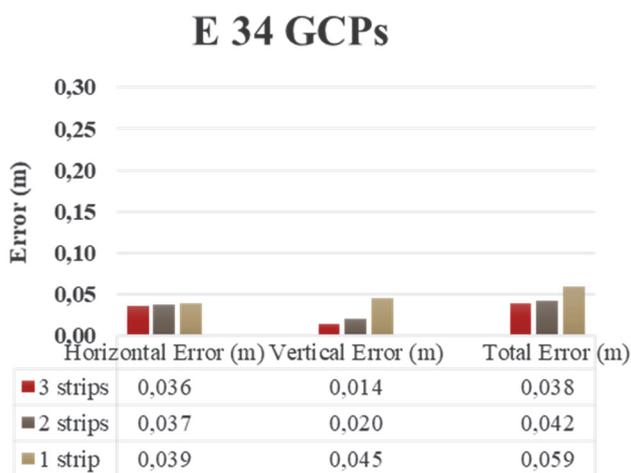


**Figure 7.** Georeferencing accuracy of using one, two, or three stripe in group D of tests

На рис. 8 представлены остаточные расхождения в координатах тридцати четырех опорных точек, использованных в методе косвенного геопозиционирования. Необходимо отметить, что одномаршрутная съемка дает погрешности в высотных координатах значительно большие, чем двух- и трехмаршрутные съемки, предположительно из-за возникающей неопределенности поперечного угла наклона фотограмметрической модели.



**Рис. 8.** Оценка точности косвенного геопозиционирования в группе E при одно-, двух- и трехмаршрутной съемке



**Figure 8.** Georeferencing accuracy of using one, two, or three stripe in group E of tests

## Заклучение

Исследованы точность прямого и косвенного геопозиционирования при съемке линейных объектов с разным количеством маршрутов (от одного до трех) при различных схемах расположения опорных точек.

Выполнены пятнадцать тестов, разделенных на пять групп. В каждой группе проведены три теста с различным количеством маршрутов. Пять групп объединены в две секции. Первая включала две группы: метод прямого геопозиционирования и метод косвенного геопозиционирования с тремя опорными точками в начале маршрута.

Во второй секции использован метод косвенного геопозиционирования с шестью, двенадцатью и тридцатью четырьмя опорными точками, равномерно расположенными вдоль объекта съемки.

В первой части исследований оценена точность координат контрольных точек при использовании метода прямого геопозиционирования, которая оказалась очень низкой: около 14 м при одномаршрутной съемке и 10 м при двух- и трехмаршрутной съемке при использовании указанного в начале статьи GPS- и IMU-оборудования.

Также в первой части реализован метод косвенного геопозиционирования при расположении трех опорных точек в начале маршрута. Использование аэроснимков двух маршрутов дало более точные результаты, чем аэроснимков одного или трех маршрутов. Результаты метода косвенного позиционирования оказались выше, чем метода прямого геопозиционирования, и составили около 7 м при одномаршрутной и 2,5 м при двух- и трехмаршрутной съемке.

Вторая часть эксперимента заключалась в использовании равномерно расположенных опорных точек вдоль объекта съемки для повышения точности фототриангуляции. Результаты доказывают, что использование аэроснимков трех маршрутов при изысканиях линейных объектов позволяет повысить точность геопозиционирования, в отличие от использования снимков одно- или двухмаршрутной аэрофотосъемки.

Использование аэроснимков двух маршрутов, полученных при съемке «туда и обратно» с достаточным количеством опорных точек и данных ГЛОНАСС, дает более точные результаты при методе прямого геопозиционирования с привлечением опорных точек. Увеличение числа маршрутов повышает затраты при аэросъемке с БПЛА, однако они невелики и компенсируются повышением точности при фотограмметрических построениях для создания ортофотопланов, цифровых моделей поверхности для целей точного земледелия, а также цифровых моделей рельефа и 3D-моделей объектов местности.

### Список литературы / References

- [1] Shahbazi M, Théau J, Ménard P. Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *Gisci. Remote Sens.* 2014;51:339–365. <http://dx.doi.org/10.1080/15481603.2014.926650>
- [2] Anderson K, Gaston KJ. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Front. Ecol. Environ.* 2013;11:138–146. <http://dx.doi.org/10.1890/120150>
- [3] Liu P, Chen A, Huang Y, Han J, Lai J, Kang S, Wu T, Wen M, Tsai M. A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. *Smart Struct. Syst.* 2014;13:1065–1094. <http://dx.doi.org/10.12989/sss.2014.13.6.1065>
- [4] Anai T, Sasaki T, Osaragi K, Yamada M, Otomo F, Otani H. Automatic exterior orientation procedure for low-cost UAV photogrammetry using video image tracking technique and GPS information. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2012. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B7-469-2012>
- [5] Bahr T, Jin X, Lasica R, Giessel D. Image registration of high-resolution UAV data: the new hypare algorithm. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2013. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-17-2013>
- [6] Boccardo P, Chiabrando F, Dutto F, Tonolo FG, Lingua A. UAV deployment exercise for mapping purposes: evaluation of emergency response applications. *Sensors.* 2015; 15:15717–15737. <http://dx.doi.org/10.3390/s150715717>

- [7] Turner D, Lucieer A, Wallace L. Direct georeferencing of ultrahigh-resolution UAV imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote.* 2014;52:2738–2745. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2013.2265295>
- [8] Xiang H, Tian L. Method for automatic georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. *Biosyst. Eng.* 2011;108:104–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.11.003>
- [9] Chiang KW, Tsai ML, Chu CH. The development of an UAV borne direct georeferenced photogrammetric platform for ground control point free applications. *Sensors.* 2012;12:9161–9180. <http://dx.doi.org/10.3390/s120709161>
- [10] Turner D, Lucieer A, Watson C. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SfM) point clouds. *Remote Sens.* 2012;4:1392–1410. <http://dx.doi.org/10.3390/rs4051392>
- [11] Chiang KW, Tsai ML, Naser ES, Habib A, Chu CH. New calibration method using low cost MEMS IMUs to verify the performance of UAV-borne MMS payloads. *Sensors.* 2015;15:6560–6585. <http://dx.doi.org/10.3390/s150306560>
- [12] Ai M, Hu Q, Li J, Wang M, Yuan H, Wang S. A robust photogrammetric processing method of low-altitude UAV images. *Remote Sens.* 2015;7:2302–2333. <http://dx.doi.org/10.3390/rs70302302>. [CrossRef] [Google Scholar]
- [13] Wu CT, Hsiao CY, Chen CS. An assessment of errors using unconventional photogrammetric measurement technology with UAV photographic images as an example. *J. Appl. Sci. Eng.* 2013;16:105–116.
- [14] Remondino F, Fraser C. Digital cameras calibration methods: considerations and comparisons. *Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium on Image Engineering and Vision Metrology.* Dresden; 2006. p. 266–272.
- [15] Rieke-Zapp D, Tecklenburg W, Peipe J, Hastedt H, Haig C. Evaluation of the geometric stability and the accuracy potential of digital cameras-comparing mechanical stabilisation versus parameterisation. *ISPRS J. Photogramm.* 2009;64:248–258. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.09.010>
- [16] Yang Y. Robust estimation for dependent observation. *Manuscr. Geod.* 1994;19:10–17.

### Сведения об авторах:

*Елиештави Амр Махмуд*, аспирант, кафедра дистанционного зондирования и цифровой картографии, Государственный университет по землеустройству; преподаватель, кафедра гражданского строительства, инженерный факультет в Каире, Университет Аль-Азхар. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0668-2375>; eLIBRARY SPIN-код: 9609-4694. E-mail: [amrshesht82@gmail.com](mailto:amrshesht82@gmail.com)

*Лимонов Анатолий Николаевич*, кандидат технических наук, доцент, профессор, кафедра дистанционного зондирования и цифровой картографии, Государственный университет по землеустройству. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4382-5200>; eLIBRARY SPIN-код: 1561-8711. E-mail: [limonov.anatoly@gmail.com](mailto:limonov.anatoly@gmail.com)

*Гаврилова Лариса Анатольевна*, кандидат технических наук, доцент, декан, факультет городского кадастра, Государственный университет по землеустройству. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7095-3224>; eLIBRARY SPIN-код: 7343-7078. E-mail: [gavrilova.a.larisa@gmail.com](mailto:gavrilova.a.larisa@gmail.com)

*Елишеви Мохамед Абделвадод*, аспирант, кафедра геодезии и геоинформатики, Государственный университет по землеустройству; преподаватель, кафедра гражданского строительства, инженерный факультет в Каире, Университет Аль-Азхар. ORCID iD:

<https://orcid.org/0000-0001-8367-207X>; eLIBRARY SPIN-код: 8872-1494. E-mail: [mimoelshewy@gmail.com](mailto:mimoelshewy@gmail.com)

**Bio notes:**

*Amr Mahmoud El Sheshtawy*, PhD student, Department of Remote Sensing and Digital Cartography, State University of Land Use Planning; teacher, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering in Cairo, Al-Azhar University ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0668-2375>; eLIBRARY SPIN-code: 9609-4694. E-mail: [amrshesht82@gmail.com](mailto:amrshesht82@gmail.com)

*Anatoly N. Limonov*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Remote Sensing and Digital Cartography, State University of Land Use Planning. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4382-5200>; eLIBRARY SPIN-code: 1561-8711. E-mail: [limonov.anatoly@gmail.com](mailto:limonov.anatoly@gmail.com)

*Larisa A. Gavrilova*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean, Faculty of Urban Cadaster, State University of Land Use Planning. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7095-3224>; eLIBRARY SPIN-code: 7343-7078. E-mail: [gavrilova.a.larisa@gmail.com](mailto:gavrilova.a.larisa@gmail.com)

*Mohamed A. Elshewy*, PhD student, Department of Geodesy and Geoinformatics, State University of Land Use Planning; teacher, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering in Cairo, Al-Azhar University. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8367-207X>; eLIBRARY SPIN-code: 8872-1494. E-mail: [mimoelshewy@gmail.com](mailto:mimoelshewy@gmail.com)



## ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ENVIRONMENTAL DEFENCE

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-397-407

УДК 66.074.37:661.833/052.3

Научная статья / Scientific article

### Модернизация схемы очистки газовых выбросов линии производства бисульфита натрия от диоксида серы

Л.А. Николаева✉, Э.М. Хуснутдинова

*Казанский государственный энергетический университет,  
Российская Федерация, 420066, Казань, ул. Красносельская, д. 51*

✉ [larisanik16@mail.ru](mailto:larisanik16@mail.ru)

**Аннотация.** Предприятия химической промышленности являются основными загрязнителями окружающей среды, вызывающими экологические проблемы. Это связано с технологией производства и токсичностью некоторых веществ. В работе предлагается очищать газовые выбросы на АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова», образующиеся при производстве бисульфита натрия, от диоксида серы адсорбционным методом. В качестве сорбционного материала использован модифицированный отход энергетики – карбонатный шлам химводоочистки Набережночелнинской ТЭЦ. Представлены технологические характеристики гранулированного сорбционного материала. Рассчитан адсорбер периодического действия с неподвижным слоем гранулированного сорбционного материала. Предложена модернизация технологической схемы очистки газовых выбросов от диоксида серы линии производства бисульфита натрия на АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова». Произведен расчет предотвращенного экологического ущерба и экономического эффекта от модернизации технологической схемы.

**Ключевые слова:** газовые выбросы, диоксид серы, карбонатный шлам, адсорбер, гранулированный сорбционный материал

**История статьи:** поступила в редакцию 16.09.2020; принята к публикации 01.12.2020.

**Для цитирования:** Николаева Л.А., Хуснутдинова Э.М. Модернизация схемы очистки газовых выбросов линии производства бисульфита натрия от диоксида серы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 397–407. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-397-407>



## Modernization of the gas emissions treatment scheme of sodium bisulfite production line from sulfur dioxide

Larisa A. Nikolaeva✉, Elvira M. Khusnutdinova

*Kazan State Power Engineering University,  
51 Krasnoselskaya St, Kazan, 420066, Russian Federation*

✉ [larisanik16@mail.ru](mailto:larisanik16@mail.ru)

**Abstract.** Chemical industry enterprises are the main environmental pollutants that cause environmental problems. This is due to the production technology and the toxicity of some substances. In this paper, it is proposed to purify the gas emissions at the JSC “Karpov Chemical Plant” formed during the production of sodium bisulfite from sulfur dioxide by the adsorption method. As a sorption material, a modified energy waste – carbonate sludge from the chemical water treatment plant of the Naberezhnye Chelny CHPP – was used. The technological characteristics of the granular sorption material are presented. A batch adsorber with a fixed layer of granular sorption material is calculated. The modernization of the technological scheme for cleaning gas emissions from sulfur dioxide of the production line of sodium bisulfite at JSC “Chemical Plant named after L.Ya. Karpov” is proposed. The calculation of the prevented environmental damage and the economic effect of the modernization of the technological scheme is made.

**Keywords:** gas emissions, sulfur dioxide, carbonate sludge, adsorber, granular sorption material

**Article history:** received 16.09.2020; revised 01.12.2020.

**For citation:** Nikolaeva LA, Khusnutdinova EM. Modernization of the gas emissions treatment scheme of sodium bisulfite production line from sulfur dioxide. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):397–407. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-397-407>

### Введение

С каждым годом отрицательное воздействие на экологическую среду оказывают выбросы токсичных веществ в атмосферу. Воздух загрязняется продуктами соединений углерода, аммиаком, стиролом, угольной золой, оксидами азота, соединениями серы. Наибольшее влияние оказывает химическая и нефтехимическая промышленность. Большое количество предприятий сконцентрировано в Поволжском районе, что сказывается на экологической обстановке. Нагрузка на атмосферный воздух, вызванная специфическими веществами, зависит от вида химических производств, их мощности и степени сосредоточения. Концентрации токсичных примесей превышают ПДК [1] в атмосфере жилой зоны городских поселений в 5 раз [2].

Важным показателем по снижению экологической нагрузки на окружающую среду является использование отходов производства в технологических процессах предприятий. К ним относится многотоннажный отход энергетики – карбонатный шлам химводоочистки (ХВО) природной воды [3; 4],

использование которого в различных отраслях промышленности решает ряд важных задач, таких как ресурсосбережение, очистка газовых выбросов, утилизация, переработка отхода производства [5; 6]. В связи с данными задачами вопросы очистки газовых выбросов и использование отходов производства являются актуальными.

### **Материалы и методы**

Объектами исследования служили гранулированный сорбционный материал (ГРСМ), разработанный на основе карбонатного шлама химводоочистки Набережночелнинской ТЭЦ, и модельная газовая среда с концентрацией диоксида серы в диапазоне 0–3000 мг/м<sup>3</sup>. Использована модельная лабораторная установка, включающая реакционную колонку с неподвижным слоем ГРСМ. Применены рекомендованные в ведомственно-экологическом контроле методы фотоколориметрического, фотометрического анализа.

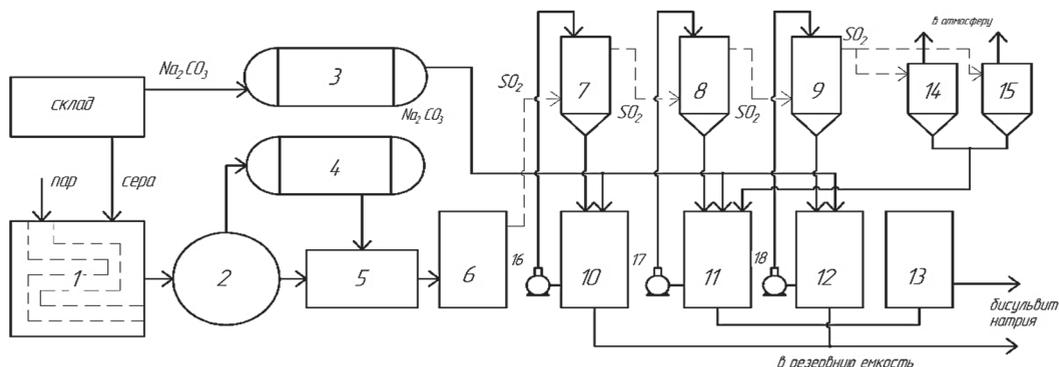
### **Результаты и их обсуждение**

В работе представлена модернизация технологической схемы очистки газовых выбросов от диоксида серы линии производства бисульфита натрия (NaHSO<sub>3</sub>) на АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова». Основной деятельностью предприятия является производство химической продукции, насчитывающей более 30 наименований, а в процессе его деятельности выделяется 49 наименований загрязняющих веществ из 78 источников выбросов, в том числе 60 организованных, 18 неорганизованных. АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова» относится к предприятиям третьей категории опасности. Среди газовых токсичных соединений химического производства, имеющих большой объем, выделяют растворители органического происхождения, сероводород, соединения азота и серы, железа, фосфора и хлора. Одним из вредных газовых выбросов, представляющих наибольший интерес, является диоксид серы (SO<sub>2</sub>), принадлежащий к III классу опасности и входящий в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (по распоряжению от 08.07.2015 г. № 1316-р). К тому же ценность представляют соединения на основе серы, являющиеся основой изготавливаемой продукции на химическом заводе.

Источниками выбросов диоксида серы на АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова» являются цех по производству сульфитных и гипосульфитных солей (бисульфит, тиосульфат натрия), производство катализатора дегидрирования легких парафиновых углеводородов, производство плит из экструдированного пенополистирола, цех производства катализатора и ингибиторов коррозии, цех производства субстанции хлористого кальция.

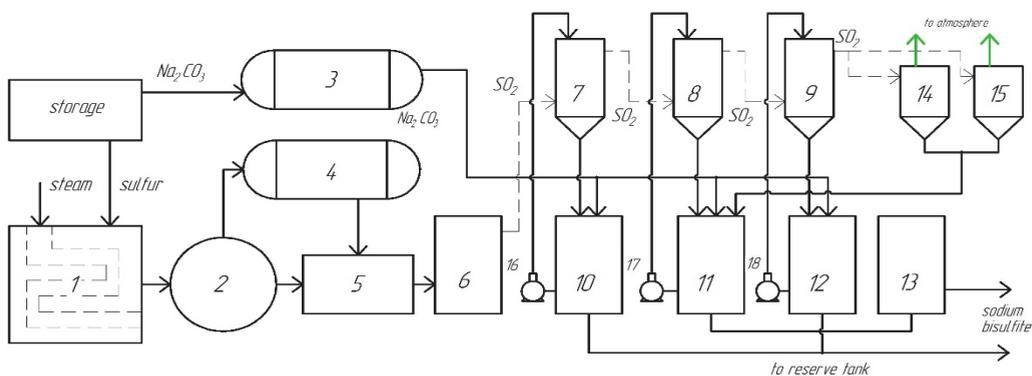
Наибольшее количество выбросов диоксида серы происходит при производстве бисульфита натрия, в процессе которого выбросы в атмосферу SO<sub>2</sub> составляют порядка 18,5 т/г при объеме выпускаемого NaHSO<sub>3</sub> около 3700 т/г. Технологический процесс получения бисульфита натрия представляет собой сложную многоступенчатую схему и состоит из следующих основных операций: получение сернистого газа, охлаждение и его транспортировка в аб-

сорберы, получение раствора кальцинированной соды, абсорбция сернистого газа, получение растворов сульфита и бисульфита натрия, упаковка последнего в тары. Гарантийный срок хранения – 3 месяца со дня изготовления. На рис. 1 представлена действующая технологическая схема производства бисульфита натрия.



**Рис. 1.** Технологическая схема процесса производства бисульфита натрия:

- 1 – плавилка серы; 2 – отстойник; 3 – напорная емкость содового раствора; 4 – напорная емкость сернистого газа; 5 – циклонная печь; 6 – башня охлаждения; 7 – абсорбер I ступени; 8 – абсорбер II ступени; 9 – абсорбер III ступени; 10 – циркуляционный сборник; 11 – циркуляционный бисульфитный сборник; 12 – санитарный сборник; 13 – сборник готовой продукции; 14, 15 – брызгоуловитель; 16, 17, 18 – центробежный насос



**Figure 1.** Technological scheme of the production process sodium bisulfite:

- 1 – sulfur smelter; 2 – sump; 3 – soda solution pressure tank; 4 – sulfur gas pressure tank; 5 – cyclone furnace; 6 – cooling tower; 7 – stage I absorber; 8 – stage II absorber; 9 – stage III absorber; 10 – circulating collector; 11 – circulating bisulfite collector; 12 – sanitary collector; 13 – collection of finished products; 14, 15 – spray catcher; 16, 17, 18 – centrifugal pump

Рассмотрим технологический процесс производства бисульфита натрия.

Серa завозится в цех автотранспортом и хранится на складе серы. Со склада ленточным транспортером подается в плавилку серы (1), где при температуре 130–150 °С происходит ее плавление, осуществляемое паром давлением не менее 0,4 МПа, подаваемым в змеевик. Расплавленная сера из плавилки (1) самотеком поступает в отстойник (2), откуда центробежным насосом с паровым обогревателем подается в напорную емкость (4). Из напорной емкости расплавленная сера перетекает в пневматическую серную форсунку, где происходит ее распыление горячим сжатым воздухом, и далее в циклонную печь (5) на горение. Сернистый газ из циклона печи (5) по стальному, футерованному изнутри огнеупорным кирпичом газоходу проходит снизу вверх через баш-

ню для охлаждения (6). Далее газ по стальному газоходу, охлажденный до температуры не более 70 °С, поступает в абсорбер I ступени (7).

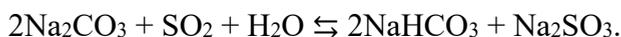
Кальцинированная сода в мешках, контейнерах или россыпью завозится в цех автотранспортом и хранится на складе соды. Растворение соды производится в напорной цилиндрической емкости (3) водой объемом 7–8 м<sup>3</sup>, с температурой не более 40 °С. Перемешивание содового раствора производится рамной мешалкой. Массовая концентрация Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 250–280 г/дм<sup>3</sup>.

Получение растворов сульфита натрия осуществляется в трех последовательно расположенных абсорберах (7), (8), (9) путем насыщения сернистым газом содового раствора.

Охлажденный сернистый газ с концентрацией SO<sub>2</sub> не менее 5,5 % подается по стальному газоходу в абсорбер I ступени (7), затем последовательно по фаолитовому газоходу направляется в абсорберы II и III ступеней (8), (9).

Абсорбер (7) орошается содовым раствором, подача которого производится центробежным насосом (16) из циркуляционного сборника (10). Движение растворов и газа осуществляется по принципу противотока.

Газ проходит в абсорбер снизу вверх, затем по фаолитовому газоходу поступает во второй по ходу газа абсорбер (8), далее в третий санитарный абсорбер (9). В абсорберах (7), (8) поглощение сернистого газа кальцинированной содой идет в начале с образованием бикарбоната и сульфита натрия по реакции



Бикарбонат в свою очередь вступает во взаимодействие с сернистым газом, образуя сульфит натрия и углекислый газ:



После разрушения всего бикарбоната сернистым газом в растворе остается только сульфит натрия. При дальнейшем поглощении сернистого газа раствором сульфита образуется бисульфит натрия:

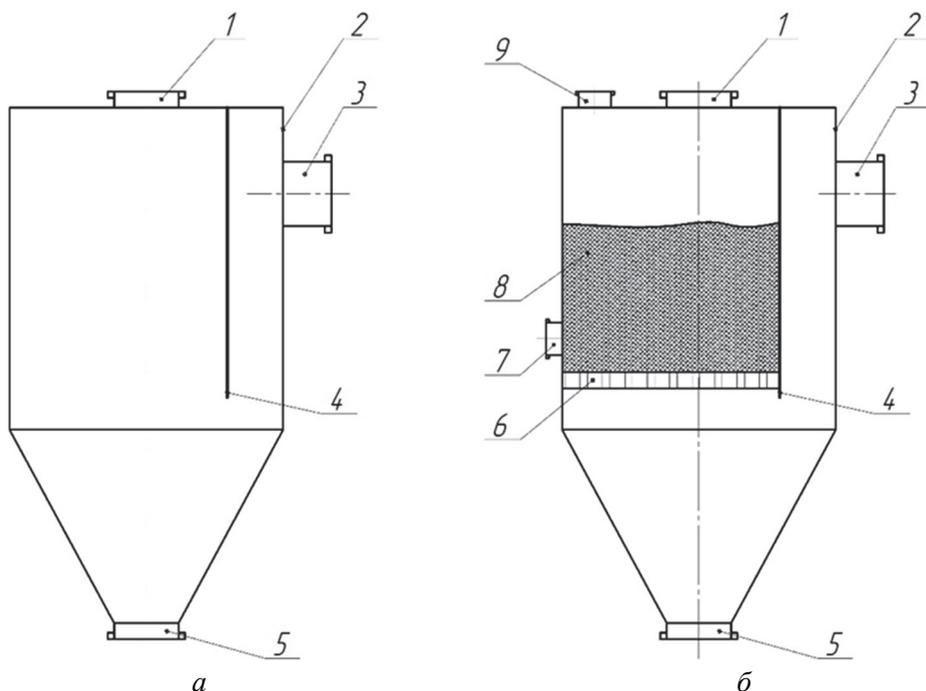


Абсорбер III ступени (9) является санитарным и служит для улавливания сернистого газа из газовой смеси.

После абсорбера III ступени (9) газовоздушная смесь проходит в брызгоуловители (14), (15), представляющие собой фаолитовый цилиндрический аппарат с коническим дном, где уносимые брызги раствора отделяются, собираются в корпусе и затем стекают в циркуляционный сборник (11). Газовоздушная смесь после брызгоуловителей с массовой долей SO<sub>2</sub> 1,0 % выбрасывается в атмосферу.

В работе предлагается модернизировать технологическую схему очистки газовых выбросов от диоксида серы в заключительной части газовоздушного тракта. Модернизация брызгоуловителя в адсорбер позволяет повысить степень очистки газовых выбросов от SO<sub>2</sub> до 99,9 %.

Для снижения концентрации диоксида серы в газовых выбросах технологической схемы производства бисульфита натрия предлагается загружать гранулированный сорбционный материал [7] в модернизированный в адсорбер брызгоуловитель (рис. 2, б) – фаолитовый цилиндрический аппарат с патрубками входа (3) и выхода (1) конической формы (рис. 2, а), где уносимые брызги раствора отделяются, собираются в корпусе (2) и затем стекают в циркуляционный сборник через патрубок (5). Газы содержащие около 1 % диоксида серы выбрасываются в атмосферу через штуцер (1).



**Рис. 2.** Общий вид используемого фаолитового брызгоуловителя:

- а – в производстве бисульфита натрия; б – модернизированный брызгоуловитель;  
 1 – штуцер отвода очищенного газа; 2 – фаолитовый корпус; 3 – штуцер подвода газовой смеси;  
 4 – каплеотбойник; 5 – патрубок отвода конденсата; 6 – стальная сетка с отверстиями диаметром не более 1 мм;  
 7 – люк для выгрузки адсорбента; 8 – слой ГРСМ; 9 – люк для загрузки адсорбента

**Figure 2.** General view of the purple spray catcher used:

- а – in the production of sodium bisulfite; б – upgraded spray catcher;  
 1 – connection for the discharge of purified gas; 2 – faolite housing; 3 – connection for the supply of the gas mixture;  
 4 – drop breaker; 5 – condensate discharge pipe; 6 – steel mesh with holes of no more than 1 mm in diameter;  
 7 – hatch for unloading adsorbent; 8 – GRSM layer; 9 – hatch for loading adsorbent

Модернизация заключается в установке в корпус брызгоуловителя стальной сетки с отверстиями диаметром не более 1 мм (7) и загрузкой на нее гранулированного сорбционного материала. Загрузка и разгрузка ГРСМ осуществляется через люки (9) и (7) соответственно.

Принцип действия: газовая смесь, содержащая  $\text{SO}_2$ , поступает в адсорбер через штуцер (3). Каплеотбойник (4) служит для отсечения частиц жидкой фазы из газового потока, которые стекают в бисульфитный сборник (11) через патрубок (5) (рис. 1). Очищенный от жидкости газ под разрежением, создаваемым эжектором, направляется в слой ГРСМ (8), где осуществляется адсорбция  $\text{SO}_2$ . Очищенные газы поступают обратно в циклонную печь (5), где используются в качестве сжатого воздуха при горении серы, таким обра-

зом осуществляется циклический процесс и полностью исключаются выбросы диоксида серы в атмосферу.

Технические характеристики ГПСМ, загруженного в адсорбер, представлены в табл. 1.

При расчете используются режимные и конструктивные параметры, принятые в соответствии с технологическим регламентом процесса производства бисульфита натрия (табл. 2).

Таблица 1

Технические характеристики ГПСМ	
Исходные данные	Показатель
Адсорбционная емкость по SO <sub>2</sub> – A <sub>ГПСМ</sub> , мг/г	140
Диаметр зерен d <sub>з</sub> , мм	0,5–2,5
Суммарный объем пор V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г	0,450
Насыпная плотность ρ <sub>н</sub> , кг/м <sup>3</sup>	560,0
Удельная поверхность a <sub>v</sub> , м <sup>2</sup> /кг	720,0
Удельный свободный объем ε <sub>св</sub>	0,375

Table 1

Technical characteristics of fuel and lubricants	
Source data	Indicator
Adsorption capacity for SO <sub>2</sub> – A <sub>ГПСМ</sub> , mg/g	140
Grain diameter d <sub>з</sub> , mm	0.5–2.5
The total pore volume V <sub>Σ</sub> , cm <sup>3</sup> /g	0.450
Bulk density ρ <sub>н</sub> , kg/m <sup>3</sup>	560.0
Specific surface area a <sub>v</sub> , m <sup>2</sup> /kg	720.0
Specific free volume ε <sub>св</sub>	0.375

Таблица 2

Исходные параметры проектирования адсорбера	
Исходные данные	Показатель
Диаметр адсорбера, м	0,85
Высота слоя ГПСМ, м	1,07
Температура процесса, °С	50
Давление, кПа	4,5
Расход газа на входе, м <sup>3</sup> /ч	300
Концентрация диоксида серы в газе на входе в адсорбер, % масс.	1,0
Скорость потока газовой смеси, м/с	0,22

Table 2

Initial parameters of the adsorber design	
Source data	Indicator
Diameter of the adsorber, m	0.85
Height of the fuel layer, m	1.07
Process temperature, °C	50
Pressure, kPa	4.5
Gas consumption at the inlet, m <sup>3</sup> /h	300
Concentration of sulfur dioxide in the gas at the entrance to the adsorber, % wt.	1.0
The flow rate of the gas mixture, m/s	0.22

Согласно [8] рассчитана продолжительность процесса адсорбции и десорбции, количество гранулированного сорбционного материала на одну загрузку. Результаты расчета модернизированного брызгоуловителя представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Итоговые показатели адсорбера**

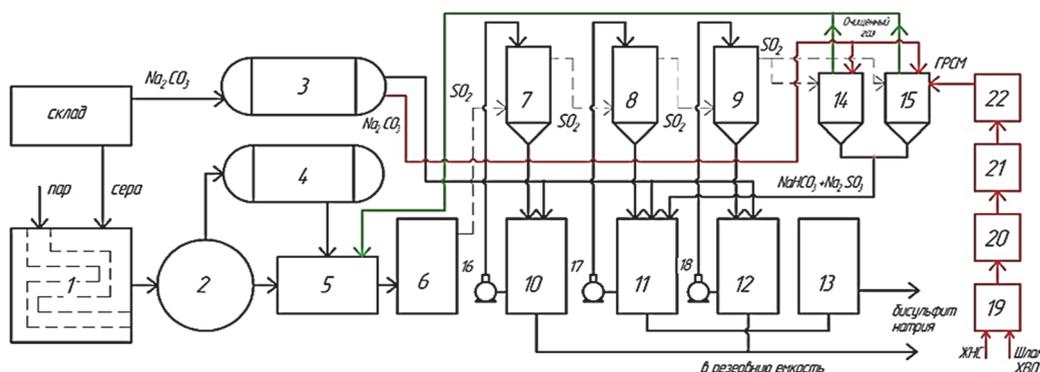
Показатель	Значение
Объем газовой смеси, м <sup>3</sup>	3807
Концентрация диоксида серы, %	0,9
Высота слоя ГPCM, м	1,07
Диаметр, м	0,85
Количество ГPCM на одну загрузку, кг	340
Продолжительность адсорбции, ч	8,4
Продолжительность десорбции, ч	4,5

Table 3

**Final indicators of the adsorber**

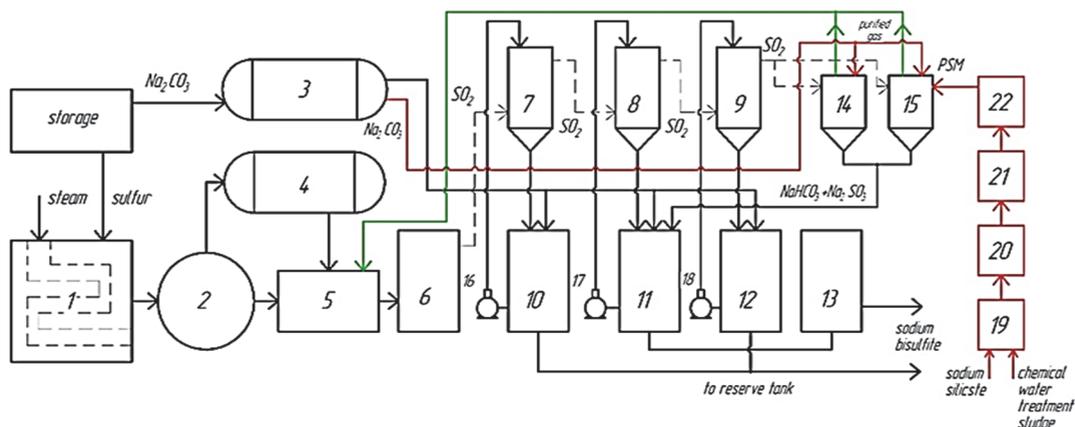
Indicator	Value
Volume of gas mixture, m <sup>3</sup>	3807
Concentration of sulfur dioxide, %	0.9
Height of the fuel layer, m	1.07
Diameter, m	0.85
Quantity of fuel per load, kg	340
Duration of adsorption, h	8.4
Duration of desorption, h	4.5

Для непрерывной работы системы очистки газовых выбросов линии производства бисульфита натрия АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова» предлагается включить в нее схему производства ГPCM с загрузкой его в адсорбер (рис. 3).



**Рис. 3.** Технологическая схема процесса производства бисульфита натрия с производством ГPCM и регенерацией:

- 1 – плавилка серы; 2 – отстойник; 3 – напорная емкость содового раствора;
- 4 – напорная емкость сернистого газа; 5 – циклонная печь; 6 – башня охлаждения; 7 – абсорбер I ступени;
- 8 – абсорбер II ступени; 9 – абсорбер III ступени; 10 – циркуляционный сборник;
- 11 – циркуляционный бисульфитный сборник; 12 – санитарный сборник; 13 – сборник готовой продукции;
- 14, 15 – брызгоуловитель; 16, 17, 18 – центробежный насос; 19 – тарельчатый гранулятор; 20 – муфельная печь;
- 21 – бункер охлаждения и хранения готового сорбента; 22 – установка подачи сорбента



**Figure 3.** Technological scheme of the sodium bisulfite production process with fuel production and regeneration:

- 1 – sulfur smelter; 2 – sump; 3 – soda solution pressure tank; 4 – sulfur gas pressure tank; 5 – cyclone furnace;
- 6 – cooling tower; 7 – stage I absorber; 8 – stage II absorber; 9 – stage III absorber; 10 – circulating collector;
- 11 – circulating bisulfite collector; 12 – sanitary collector; 13 – collection of finished products; 14, 15 – spray catcher;
- 16, 17, 18 – centrifugal pump; 19 – mixer-granulator; 20 – muffle furnace;
- 21 – hopper for cooling and storing the finished sorbent; 22 – sorbent feed unit

Производство ГРСМ осуществляется по следующим технологическим стадиям операции: гранулирование в тарельчатом грануляторе (19), прокаливание в муфельной печи (20), охлаждение в бункере (21) и подача ГРСМ в адсорбер с помощью установки (22).

Следующий этап модернизации схемы очистки газовых выбросов от диоксида серы – процесс регенерации ГРСМ. Регенерация начинается с подачи в адсорбер кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) из напорной емкости содового раствора (3). Концентрация  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  составляет 250–280 г/дм<sup>3</sup>. Время промывания – 0,5 ч. Кальцинированная сода реагирует с диоксидом серы, вымывая его из ГРСМ. Образуется раствор бисульфита натрия, который самотеком направляется в санитарный сборник (12). При достижении нейтральной среды раствор поступает в циркуляционный сборник (10). ГРСМ просушивают подаваемым свежим газом в адсорбер. Таким образом, очищенный от  $\text{SO}_2$  гранулированный сорбционный материал возвращается в цикл производства бисульфита натрия.

Модернизация схемы очистки отходящих газов позволяет довести очистку газовых выбросов от  $\text{SO}_2$  до 99,9 % и частично решает проблему утилизации многотоннажного отхода энергетики – карбонатного шлама химводочистки.

В работе произведен расчет предотвращенного экологического ущерба и экономического эффекта от предложенных мероприятий.

Получено, что величина предотвращенного экологического ущерба от деградации почв и земель для Набережночелнинской ТЭЦ составила 43,5 тыс. руб./год, от снижения выбросов диоксида серы в атмосферный воздух – 204,907 тыс. руб./год. Общий предотвращенный экологический ущерб при использовании предложенной технологии равен 248,407 тыс. руб./год. Годовой экономический эффект при внедрении адсорбционной технологии на АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова» – 162,4 тыс. руб./год, срок окупаемости – 4,5 года.

Анализ показал экономическую эффективность использования отхода производства, а именно ГРСМ, в качестве сорбционного материала, стоимость которого значительно ниже, чем у аналогов, представленных на рынке.

### Заключение

Модернизация схемы очистки газовых выбросов линии производства бисульфита натрия позволит:

1) повысить степень очистки газовых выбросов от диоксида серы, тем самым сократить их на 18,5 т/г;

2) использовать модифицированный отход энергетики – карбонатный шлак ХВО, в результате чего предотвращается экологический ущерб природоохранной деятельности от деградации почв и земель для Набережночелнинской ТЭЦ, который составил 43,5 тыс. руб./год;

3) снизить количество газовых выбросов, содержащих  $SO_2$ ;

4) получить экономический эффект от снижения экологических затрат предприятий при сокращении диоксида серы в газовых выбросах и возврата сернистого газа при регенерации модернизированного брызгоуловителя в цикл производства бисульфита натрия. Годовой экономический эффект при внедрении адсорбционной технологии на АО «Химический завод имени Л.Я. Карпова» – 162,4 тыс. руб./год.

### Список литературы

- [1] Шмиголь И.Н., Ольшанский Ю.П. Сероочистка дымовых газов тепловых электростанций : учебно-методическое пособие. М.: ИУЭ ГУУ ИПКгосслужбы, 2006. 96 с.
- [2] СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. М., 2001.
- [3] Николаева Л.А., Хуснутдинов А.Н. Решение экологических проблем промышленных предприятий при очистке газовых выбросов гранулированным шламом // Вода : химия и экология. 2019. № 2. С. 83–89.
- [4] Танатаров М.А., Ахметшина А.М., Фасхутдинов Р.А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти. М. : Химия, 1987. 352 с.
- [5] Крылов И.О., Луговская И.Г., Коровушкин В.В., Макеев Д.Б. Влияние термической обработки на сорбционные и каталитические свойства шунгитовых пород // Экология и промышленность России. 2008. № 10. С. 24–27.
- [6] Терехова М.В., Русакова С.М. Исследование адсорбционных закономерностей анионов на поверхности красного шлама // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 1. № 3. С. 147–151.
- [7] Николаева Л.А., Хуснутдинова Э.М. Исследование механизма адсорбции диоксида серы из газовых выбросов производства бисульфита натрия // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. 2020. № 3 (77). С. 19–31.
- [8] Лантев А.Г., Конахин А.М., Минеев Н.Г. Теоретические основы и расчет аппаратов разделения гомогенных смесей. Казань : КГЭУ, 2007. 426 с.

### References

- [1] Shmigol IN, Olshansky YuP. *Desulphurization of smoke gases of thermal power plants: educational and methodical manual*. Moscow: IUE GUU Ipkgosluzhby Publ.; 2006. (In Russ.)

- [2] SanPiN 2.1.6.1032-01. *Hygienic requirements for ensuring the quality of atmospheric air in populated areas*. Moscow; 2001. (In Russ.)
- [3] Nikolaeva LA, Khusnutdinov AN. Solving environmental problems of industrial enterprises when cleaning gas emissions with granulated sludge. *Water: Chemistry and Ecology*. 2019;(2):83–89. (In Russ.)
- [4] Tanatarov MA, Akhmetshina AM, Faskhutdinov RA, et al. *Technological calculations of oil processing plants*. Moscow: Khimiya Publ.; 1987. (In Russ.)
- [5] Krylov IO, Lugovskaya IG, Korovushkin VV, Makeev DB. Influence of heat treatment on sorption and catalytic properties of shungite rocks. *Ecology and Industry in Russia*. 2008;(10):24–27. (In Russ.)
- [6] Terekhova MV, Rusakova SM. Investigation of adsorption patterns of anions on the surface of red slime. *Izvestiya MSTU "MAMI"*. 2013;1(3):147–151. (In Russ.)
- [7] Nikolaeva LA, Khusnutdinova EM. Investigation of the mechanism of adsorption of sulfur dioxide from gas emissions of sodium bisulfite production. *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*. 2020;3(77):19–31. (In Russ.)
- [8] Laptev AG, Konakhin AM, Mineev NG. *Theoretical foundations and calculation of devices for the separation of homogeneous mixtures*. Kazan: KGEU Publ.; 2007. (In Russ.)

#### **Сведения об авторах:**

*Николаева Лариса Андреевна*, доктор технических наук, доцент, кафедра технологии воды и топлива, Казанский государственный энергетический университет. E-mail: larisnik16@mail.ru

*Хуснутдинова Эльвира Мусавировна*, соискатель, кафедра технологии воды и топлива, Казанский государственный энергетический университет. E-mail: rr-088@mail.ru

#### **Bio notes:**

*Larisa A. Nikolaeva*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Water and Fuel Technology, Kazan State Power Engineering University. E-mail: larisnik16@mail.ru

*Elvira M. Khusnutdinova*, Candidate of the Department of Water and Fuel Technology, Kazan State Power Engineering University. E-mail: rr-088@mail.ru

## ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА HUMAN ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-408-416

УДК 504.75:611.1

Научная статья / Scientific article

### Влияние магния на психоэмоциональное напряжение и функциональную активность сердечно-сосудистой системы у студентов из стран Африки

А.А. Киричук<sup>1</sup>✉, А.С. Клименко<sup>1</sup>, Ю.Н. Лобанова<sup>1</sup>,  
А.Е. Побилат<sup>1</sup>, А.Н. Мазилина<sup>1</sup>, А.А. Королева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов,  
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

<sup>2</sup>Центр биотической медицины,  
Российская Федерация, 105064, Москва, ул. Земляной Вал, д. 46

✉ kirichuk-aa@rudn.ru

**Аннотация.** Изучено влияние дополнительного поступления в организм магния на психоэмоциональное напряжение и функциональную активность сердечно-сосудистой системы у студентов из стран Африки. В исследовании приняли участие 33 студента мужского пола из стран экваториальной Африки, обучающихся на первом курсе Российского университета дружбы народов. В течение 30 дней они получали дополнительно 150 мг магния в сутки. До и после курса приема магния проводилась оценка функциональной активности сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального напряжения с использованием диагностического комплекса АнгиоСкан-01 (АнгиоСкан Электроникс, Россия), а также уровня магния в сыворотке крови и моче обследуемых методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Установлено, что месячный курс приема магния приводил к достоверному увеличению концентрации магния в сыворотке крови на 3 % относительно исходных значений. Увеличение поступления магния в течение месяца сопровождалось достоверным снижением величины индекса стресса Баевского по сравнению с исходными показателями. По окончании курса приема магния также отмечалось достоверное снижение индекса жесткости крупных сосудов, таких как аорта и ее ветви. Выявлено достоверное увеличение абсолютной длительности систолы и времени от начала пульсовой волны до максимума ранней систолической волны.

**Ключевые слова:** магний, стресс, жесткость артерий, функциональная активность, студенты-иностранцы

**История статьи:** поступила в редакцию 30.10.2020; принята к публикации 25.11.2020.

**Для цитирования:** Киричук А.А., Клименко А.С., Лобанова Ю.Н., Побилат А.Е., Мазилина А.Н., Королева А.А. Влияние магния на психоэмоциональное напряжение и функциональную активность сердечно-сосудистой системы у студентов из стран Африки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 408–416. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-408-416>

## The impact of magnesium on psycho-emotional stress and functional activity of the cardiovascular system in students from African countries

Anatoly A. Kirichuk<sup>1</sup>  , Anna S. Klimenko<sup>1</sup> , Yulia N. Lobanova<sup>1</sup> ,  
Anna E. Pobilat<sup>1</sup>, Aksana N. Mazilina<sup>1</sup> , Anastasia A. Koroleva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),  
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Center for Biotic Medicine,  
46 Zemlyanoy Val St, Moscow, 105064, Russian Federation*

✉ kirichuk-aa@rudn.ru

**Abstract.** The objective of the study is investigation of the impact of magnesium on psycho-emotional stress and functional activity of the cardiovascular system in foreign male students of African origin. A total of 33 male first course students were involved in the study. The examinees were supplemented with 150 mg/day of magnesium. Evaluation of serum and urinary Mg levels was performed using inductively-coupled plasma mass-spectrometry, whereas functional activity of the cardiovascular system and psycho-emotional stress were assessed using Angioscan-01 diagnostic complex both before and after a course of magnesium supplementation. It has been demonstrated that magnesium supplementation resulted in a significant 3% increase in serum Mg levels as compared to baseline. The observed increase in circulating magnesium levels was associated with a significant 26% decrease in stress index, whereas arterial stiffness index significantly reduced by 3%. A significant increase in absolute systole duration and time from the start of the pulse wave to a maximum of the early systolic wave was also observed. The results of the study demonstrate a significant decrease in stress index and arterial stiffness in response to magnesium intake, being in agreement with the existing data on protective effects of magnesium. Therefore, monitoring of magnesium supply and its improvement may be considered as a valuable tool supporting somatic and psychic health of students thus improving their academic performance.

**Keywords:** magnesium, stress, arterial stiffness, functional activity, foreign students

**Article history:** received 30.10.2020; revised 25.11.2020.

**For citation:** Kirichuk AA, Klimenko AS, Lobanova YN, Pobilat AE, Mazilina AN, Koroleva AA. The impact of magnesium on psycho-emotional stress and functional activity of the cardiovascular system in students from African countries. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):408–416. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-408-416>

### Введение

Обучение в высшей школе предъявляет высокие требования к студентам, что способствует развитию психоэмоционального стресса [1]. Одной из наиболее подверженных развитию стресса групп являются студенты-иностранцы,

которые также находятся под влиянием инородной культурной среды и климато-географических факторов [2]. Развитие психоэмоционального стресса у студентов сопровождается снижением академической успеваемости [3], а также развитием широкого спектра патологических состояний. Одним из механизмов формирования последних является стресс-индуцированное нарушение реактивности сердечно-сосудистой системы [4]. Так, в ранее проведенных нами исследованиях была установлена большая выраженность стресса у студентов-иностранцев, ассоциированная с жесткостью крупных сосудов, частотой сердечных сокращений и другими нарушениями сосудистой реактивности [5]. При этом один из факторов, влияющих на формирование данных различий, – обеспеченность организма студентов эссенциальными макро- и микроэлементами [6].

Одним из наиболее значимых химических элементов, обладающим выраженным нейропротективным эффектом, является магний [7]. При этом нейропротективное действие магния реализуется и при органических повреждениях нервной системы [8]. Стоит отметить, что магний играет значительную роль в функционировании сердечно-сосудистой системы, тогда как его дефицит ассоциирован с широким спектром кардиоваскулярной патологии [9]. Таким образом, подтверждена роль магния как средства профилактики нервно-психических и сердечно-сосудистых нарушений в группах риска. Определение уровня магния и других макро- и микроэлементов является средством предиктивной медицины. Основываясь на ранее выявленном дефиците уровня магния у студентов-иностранцев, в том числе прибывших из стран Африки [6], коррекция обмена магния может являться перспективным инструментом профилактики функциональных нарушений в данной группе лиц.

Цель исследования – изучение влияния дополнительного поступления в организм магния на выраженность психоэмоционального напряжения и функциональную активность сердечно-сосудистой системы у студентов-иностранцев.

### **Материалы и методы**

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (1964) на добровольной основе после получения добровольного информированного согласия на участие в исследовании. Протокол исследования одобрен Локальным этическим комитетом при Российском университете дружбы народов (РУДН).

В исследовании приняли участие 33 иностранных студента мужского пола, прибывших из стран экваториальной Африки (Экваториальная Гвинея, Гвинея-Бисау, Демократическая Республика Конго, Чад, Ангола, Бурунди) и обучающихся на первом курсе РУДН. Средний возраст обследуемых составил  $25,0 \pm 3,6$  лет при среднем росте  $178,6 \pm 7,8$  см и весе  $74,3 \pm 10,5$  кг.

В ходе исследования изучалось влияние приема магния на выраженность психоэмоционального напряжения и функциональной активности сердечно-сосудистой системы у студентов. В частности, в течение 30 дней студенты принимали 150 мг/сут магния в составе магнийсодержащей биологии

чески активной добавки (аспарагинат магния) к пище, имеющей сертификат государственной регистрации и предоставляющейся обследуемым на безвозмездной основе.

В ходе работы выполнялось обследование студентов в двух контрольных точках: до и после месячного курса приема магния. На каждом из этапов обследование включало оценку функциональной активности сердечно-сосудистой системы, выраженности психоэмоционального напряжения, а также уровня магния в индикаторных биосубстратах обследуемых.

Для непосредственной оценки эффективности поступления магния в организм осуществлялось определение содержания данного элемента в индикаторных биосубстратах, сыворотке крови и моче. Забор крови из локтевой вены осуществлялся с использованием системы для взятия венозной крови Vacuette (Greiner Bio-One, Австрия) с последующим центрифугированием в течение 10 мин при 1600 об/мин и отбором сыворотки в пробирки типа Eppendorf. Процедура забора крови осуществлялась процедурной медицинской сестрой в условиях лаборатории. Студентами самостоятельно осуществлялся сбор средней порции мочи в контейнер Vacuette. Перед анализом образцы сыворотки крови и мочи подвергались пробоподготовке, включающей разведение подкисленным дилуэнтном (pH = 2,0; 1:15 v/v), содержащим 8 % 1-бутанола, 0,8% Тритона X-100, 0,02 % гидроксида тетраметиламмония и 0,02 % этилендиамина тетрауксусной кислоты (ЭДТА).

Определение содержания магния в сыворотке крови и моче обследуемых проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на спектрометре NexION 300D (PerkinElmer Inc., США), оснащенный автодозатором ESI SC-2 DX4 (Elemental Scientific Inc., USA). Калибровка системы ИСП-МС производилась с использованием стандартных растворов солей магния в ожидаемых пределах обнаружения, изготовленных на основе Universal Data Acquisition Standards Kit (PerkinElmer Inc., США). Также выполнялась внутренняя онлайн-стандартизация с использованием растворов иттрия (Y) и родия (Rh), изготовленных на основе соответствующих наборов (Pure Single-Element Standard, PerkinElmer Inc., США).

С целью контроля качества проводился анализ сертифицированных референтных образцов мочи ClinChek Urine Control (Recipe, Германия) и плазмы крови ClinChek Plasma Control for Trace Elements, levels I and II (Recipe, Германия). Соответствие опытных значений сертифицированным для обеих матриц варьировало от 94 до 102 %, при этом во всех случаях находясь в сертифицированных интервалах концентраций.

Изучение функциональной активности сердечно-сосудистой системы студентов осуществлялось с использованием диагностического комплекса АнгиоСкан-01 (АнгиоСкан Электроникс, Россия) и регистрацией широкого спектра функциональных показателей. В частности, определялись ЧП – частота пульса, AGI – возрастной индекс, VA – возраст сосудистой системы; SI – индекс жесткости, свидетельствующий о тоне аорты и ее ветвей, RI – индекс отражения, являющийся маркером тонуса периферических сосудов, ED и %ED – абсолютная и относительная продолжительность систолы, Spa – центральное систолическое давление в проксимальном отделе аорты и брахиоцефальных

сосудах, PD – длительность пульсовой волны; AIp, % – индекс аугментации (увеличения) абсолютный и AIp75, представляющий собой индекс увеличения, приведенный к частоте сердечных сокращений 75, TdVMax – момент наибольшей скорости изменения кровенаполнения капилляров пальца, T1 и T2 – 1 и 2 пики пульсовой волны соответственно; dTpp – интегральный показатель, являющийся маркером эластичности аорты. Наряду с оценкой функциональных показателей сердечно-сосудистой системы с использованием диагностического комплекса АнгиоСкан-01 также проводилась оценка индекса стресса (ИС), или индекса напряжения Баевского.

Статистический анализ полученных данных производился с использованием программного обеспечения Statistica 10.0 (Statsoft, USA) для операционной системы Windows. Данные представлены в виде средней арифметической величины и соответствующих значений стандартного отклонения. Достоверность изменений изучаемых показателей оценивалась с использованием критерия знаков. Результаты считались достоверными при  $p < 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

Дополнительный курс приема 150 мг магния в сутки в течение 30 дней приводил к достоверному увеличению ( $p = 0,023$ ) концентрации магния в сыворотке крови на 3 % ( $22,1 \pm 1,3$  мкг/мл) относительно исходных значений ( $22,8 \pm 1,6$  мкг/мл). В то же время достоверных изменений в концентрации магния в моче выявлено не было ( $p = 0,724$ ), хотя и имело место снижение экскреции макроэлемента с мочой ( $64,0 \pm 26,4$  мкг/мл) относительно исходного уровня ( $51,1 \pm 19,2$  мкг/мл).

Увеличение поступления с пищей магния в течение месяца сопровождалось значительными изменениями психоэмоционального напряжения и функциональной активности сердечно-сосудистой системы (см. таблицу). Так, величина индекса Баевского у студентов-африканцев, получающих магний, характеризовалась достоверным 26%-м снижением по сравнению с исходными показателями. Также отмечалось достоверное 3%-е снижение индекса жесткости крупных сосудов, таких как аорта и ее ветви, по окончании курса приема магния. Помимо этого, выявлено достоверное увеличение абсолютной длительности систолы (ED, мс). Отмечаемому увеличению абсолютной длительности систолы соответствует обнаруживаемое увеличение времени от начала пульсовой волны до максимума ранней систолической волны. Тем не менее, несмотря на данные различия, сколько-нибудь значимых изменений в длительности систолы относительно общей длительности сердечного цикла (%ED, %) выявлено не было.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о статистически значимом снижении выраженности психоэмоционального напряжения и индекса жесткости артерий под влиянием приема магния, что согласуется с литературными данными о протективном эффекте магния. В частности, в ходе недавно проведенного систематического обзора показано, что прием магния сопровождается достоверным снижением выраженности психоэмоционального стресса и раздражительности [10]. Данное наблюдение также согласуется с выявленной протективной ролью магния в отношении других умственных и психических расстройств [11].

**Показатели функциональной активности сердечно-сосудистой системы  
и индекса напряжения Баевского у студентов-африканцев  
до и после месячного приема магния**

Показатель	До приема	После приема	p
ЧП, уд/ми	73,0 ± 13,2	72,9 ± 10,5	0,850
Alp75, %	-8,5 ± 9,9	-9,8 ± 11,2	0,855
VA, лет	37,3 ± 8,4	37,3 ± 9,2	0,441
Стресс	128 ± 101,9	101,4 ± 65,6	0,045*
Alp, %	-8,2 ± 11,8	-10,6 ± 12,9	0,361
SI, м/сек	7,5 ± 1,4	7,3 ± 1,3	0,018*
%ED, %	33,1 ± 5	33,6 ± 4,3	0,845
aSI, м/сек	9,2 ± 2,2	9,3 ± 2,6	0,850
RI, %	26,1 ± 9,3	26,4 ± 8,8	0,855
AGI	-0,8 ± 0,2	-0,8 ± 0,2	0,480
ED, vc	275 ± 19,6	277,5 ± 15,6	<0,001*
PD, мс	847,6 ± 141,8	838,4 ± 113,9	0,710
T1, мс	115,5 ± 11,8	118,1 ± 9	0,018*
T, мс	212,2 ± 17,3	214,4 ± 15,8	0,345
dTpp, мс	96,8 ± 15,1	96,3 ± 15,9	0,710
Spa, мм рт. ст	129,3 ± 4,8	129,1 ± 4,6	0,845

*Примечание.* Данные представлены в виде средней и среднеквадратического отклонения.  
\* – достоверность при  $p < 0,05$  в соответствии с критерием знаков.

**Indicators of the functional activity of the cardiovascular system and the Baevsky stress index  
in African students before and after a month's intake of magnesium**

Indicator	Before admission	After taking	p
ChP, beats/min	7.0 ± 13.2	72.9 ± 10.5	0.850
Alp75, %	-8.5 ± 9.9	-9.8 ± 11.2	0.855
VA, years	37.3 ± 8.4	37.3 ± 9.2	0.441
Stress	128 ± 101.9	101.4 ± 65.6	0.045*
Alp, %	-8.2 ± 11.8	-10.6 ± 12.9	0.361
SI, m/s	7.5 ± 1.4	7.3 ± 1.3	0.018 *
%ED, %	33.1 ± 5	33.6 ± 4.3	0.845
aSI, m/s	9.2 ± 2.2	9.3 ± 2.6	0.850
RI, %	26.1 ± 9.3	26.4 ± 8.8	0.855
AGI	-0.8 ± 0.2	-0.8 ± 0.2	0.480
ED, vc	275 ± 19.6	277.5 ± 15.6	<0.001*
PD, мс	847.6 ± 141.8	838.4 ± 113.9	0.710
T1, мс	115.5 ± 11.8	118.1 ± 9	0.018*
T, мс	212.2 ± 17.3	214.4 ± 15.8	0.345
dTpp, мс	96.8 ± 15.1	96.3 ± 15.9	0.710
Spa, mmHg	129.3 ± 4.8	129.1 ± 4.6	0.845

*Source:* data are presented as mean and standard deviation.  
\* – reliability at  $p < 0.05$  in accordance with the sign criterion.

Напротив, дефицит магния сопровождается нарушением функционирования гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы и, как следствие, дисрегуляцией стрессорной реакции и развитием тревожности [12]. Стоит отметить, что дефицит магния также может сопровождаться развитием более выраженных патологий нервной системы, таких как нейродегенеративные и демиелинизирующие заболевания [13]. Подобные эффекты магния обуслов-

лены его ролью в регуляции роста и развития нейронов, их энергетического метаболизма и передачи сигналов, а также антиоксидантной и противовоспалительной функциями [7].

В ходе исследования также было выявлено снижение жесткости сосудистого русла у обследуемых при приеме магния. Данное наблюдение согласуется с результатами исследования, свидетельствующими о достоверном снижении жесткости артерий и, как следствие, артериального давления при увеличении уровня магния в диализате у пациентов, находящихся на гемодиализе [14]. Также отмечено снижение толщины комплекса интима-медиа сонных артерий при длительном приеме магния у пациентов с сахарным диабетом 2 типа [15], что может обуславливать изменение жесткости артерий. Напротив, дефицит магния сопровождается увеличением жесткости артерий и развитием эндотелиальной дисфункции, таким образом способствуя развитию артериальной гипертензии и других сердечно-сосудистых заболеваний [16].

### Заключение

Прием в течение месяца студентами-африканцами магния по 150 мг в сутки приводил к достоверному увеличению концентрации магния в сыворотке крови на 3 % относительно исходных значений, а также сопровождался достоверным снижением величины индекса стресса Баевского на 26 % по сравнению с исходными показателями. Необходимо отметить, что после месячного приема магния отмечалось достоверное снижение на 3 % индекса жесткости крупных сосудов, таких как аорта и ее ветви.

Таким образом, результаты проведенного исследования подтверждают значимость коррекции обмена магния в качестве средства профилактической медицины [17], причем установлена эффективность данного элемента и в профилактике функциональных нарушений у физически здоровых обследуемых, не входящих в группы риска. В этой связи мониторинг обеспеченности организма студентов-иностранцев магнием и его коррекция могут являться инструментом поддержания соматического и психического здоровья студентов и, как следствие, повышения их академической успеваемости.

### Список литературы / References

- [1] Kuryasev IA. Stress and stress resistance of students. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety*. 2013;(5):64–67. (In Russ.)  
Курясов И.А. Стресс и стрессоустойчивость студентов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия : Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 5. 64–67
- [2] Ivanova AD, Raerindzatuvu ZhS. Problems of psychological and pedagogical adaptation of foreign students in Russia. *Scientific Review. Pedagogical Sciences*. 2017;(4):57–61. (In Russ.)  
Иванова А.Д., Раэриндзатуву Ж.С. Проблемы психолого-педагогической адаптации иностранных студентов в России // Научное обозрение. Педагогические науки. 2017. № 4. С. 57–61.
- [3] Abdullah SF, Shah NA, Idaris RM. Stress and its relationship with the academic performance of higher institution students. *International Journal of Advanced Research in Education and Society*. 2020;2(1):61–73.

- [4] Huang CJ, et al. Cardiovascular reactivity, stress, and physical activity. *Frontiers in Physiology*. 2013;4:314.
- [5] Kirichuk AA, Radysh IV, Chizhov AYa. Activity, imbalance and adaptive reactions of the functional systems of the organism of foreign students of the Peoples' Friendship University of Russia in a megacity. *Human Ecology*. 2019;(1):20–25.  
Киричук А.А., Радыш И.В., Чижов А.Я. Активность, дисбаланс и адаптационные реакции функциональных систем организма иностранных студентов Российского университета дружбы народов в условиях мегаполиса // Экология человека. 2019. № 1. С. 20–25.
- [6] Kirichuk AA. Interrelations between the exchange of essential trace elements and the functional state of the cardiovascular system in foreign students. *Trace Elements in Medicine*. 2020;21(3):33–42.  
Киричук А.А. Взаимосвязи обмена эссенциальных микроэлементов и функционального состояния сердечно-сосудистой системы у студентов-иностранцев // Микроэлементы в медицине. 2020. Т. 21. № 3. С. 33–42.
- [7] Yamanaka R, Shindo Y, Oka K. Magnesium is a key player in neuronal maturation and neuropathology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(14):34–39.
- [8] Lingam I, Robertson NJ. Magnesium as a neuroprotective agent: a review of its use in the fetus, term infant with neonatal encephalopathy, and the adult stroke patient. *Developmental Neuroscience*. 2018;40(1):1–12.
- [9] Tangvoraphonkchai K, Davenport A. Magnesium and cardiovascular disease. *Advances in Chronic Kidney Disease*. 2018;25(3):251–260.
- [10] Boyle NB, Lawton C, Dye L. The effects of magnesium supplementation on subjective anxiety and stress – a systematic review. *Nutrients*. 2017;9(5):429.
- [11] Botturi A, et al. The role and the effect of magnesium in mental disorders: a systematic review. *Nutrients*. 2020;12(6):1661.
- [12] Sartori SB, Whittle N, Hetzenauer A, Singewald N. Magnesium deficiency induces anxiety and HPA axis dysregulation: modulation by therapeutic drug treatment. *Neuropharmacology*. 2012;62(1):304–312.
- [13] Kirkland AE, Sarlo GL, Holton KF. The role of magnesium in neurological disorders. *Nutrients*. 2018;10(6):730.
- [14] Del Giorno R, et al. Consequences of supraphysiological dialysate magnesium on arterial stiffness, hemodynamic profile, and endothelial function in hemodialysis: a randomized crossover study followed by a non-controlled follow-up phase. *Advances in Therapy*. 2020;37(12):4848–4865.
- [15] Talari HR, et al. Effects of magnesium supplementation on carotid intima – media thickness and metabolic profiles in diabetic haemodialysis patients: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *British Journal of Nutrition*. 2019;121(7):809–817.
- [16] Kostov K, Halacheva L. Role of magnesium deficiency in promoting atherosclerosis, endothelial dysfunction, and arterial stiffening as risk factors for hypertension. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19(6):1724.
- [17] Al Alawi AM, Majoni SW, Falhammar H. Magnesium and human health: perspectives and research directions. *International Journal of Endocrinology*. 2018:9041694. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/9041694>

### Сведения об авторах:

Киричук Анатолий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра судебной экологии с курсом экологии человека, Российский университет дружбы народов. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5125-5116>; eLIBRARY SPIN-код: 9483-2011; AuthorID: 342506. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

Клименко Анна Сергеевна, кандидат медицинских наук, доцент, директор, Амбулаторно-поликлинический центр, Клинико-диагностический центр, Российский уни-

верситет дружбы народов. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8591-3746>. E-mail: [klimenko-as@rudn.ru](mailto:klimenko-as@rudn.ru)

*Лобанова Юлия Николаевна*, кандидат биологических наук, доцент, кафедра медицинской элементарологии, Российский университет дружбы народов. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0934-4315>. E-mail: [lobanova\\_ju@mail.ru](mailto:lobanova_ju@mail.ru)

*Побилат Анна Евгеньевна*, кандидат медицинских наук, старший преподаватель, кафедра медицинской элементарологии, Российский университет дружбы народов. E-mail: [pobiiat\\_anna@mail.ru](mailto:pobiiat_anna@mail.ru)

*Мазиллина Аксана Николаевна*, кандидат медицинских наук, старший преподаватель, кафедра медицинской элементарологии, Российский университет дружбы народов. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4785-2668>; eLIBRARY SPIN-код: 7042-8060; AuthorID: 844186. E-mail: [gman65@mail.ru](mailto:gman65@mail.ru)

*Королева Анастасия Александровна*, терапевт, амбулаторно-поликлиническое отделение, Центр биотической медицины. E-mail: [koroleva@drskalny.ru](mailto:koroleva@drskalny.ru)

### **Bio notes:**

*Anatoly A. Kirichuk*, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Forensic Ecology with the Course of Human Ecology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5125-5116>; eLIBRARY SPIN-code: 9483-2011; AuthorID: 342506. E-mail: [kirichuk-aa@rudn.ru](mailto:kirichuk-aa@rudn.ru)

*Anna S. Klimenko*, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Director, Outpatient Polyclinic Center, RUDN Clinical and Diagnostic Center. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8591-3746>. E-mail: [klimenko-as@rudn.ru](mailto:klimenko-as@rudn.ru)

*Yulia N. Lobanova*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Medical Elementology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0934-4315>. E-mail: [lobanova\\_ju@mail.ru](mailto:lobanova_ju@mail.ru)

*Anna E. Pobilat*, Candidate of Medical Sciences, senior lecturer, Department of Medical Elementology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: [pobiiat\\_anna@mail.ru](mailto:pobiiat_anna@mail.ru)

*Aksana N. Mazilina*, Candidate of Medical Sciences, senior lecturer, Department of Medical Elementology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4785-2668>; eLIBRARY SPIN-code: 7042-8060; AuthorID: 844186. E-mail: [gman65@mail.ru](mailto:gman65@mail.ru)

*Anastasia A. Koroleva*, therapist, Center for Biotic Medicine. E-mail: [koroleva@drskalny.ru](mailto:koroleva@drskalny.ru)



DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-417-427

UDC 504.03

Scientific article / Научная статья

## Moving towards sustainable development goals: initiatives of Bangladeshi youth organizations during corona outbreak

Sayed Md. Kamruzzaman

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

✉ [sayedkamruzzaman51@gmail.com](mailto:sayedkamruzzaman51@gmail.com)

**Abstract.** The purposes of this paper are to measure youth organizations' contribution during corona crisis that has impact on SDGs, to know the activities that have done for the society to identify which activity have impact on which SDGs, thus, it can be measured the sustainability of the organization itself. Bangladesh marching towards sustainable development goals undoubtedly will reach its apex by 2030; Bangladeshi youth are dedicating themselves broader during this pandemic. Youth organizations are straight away there for nations by providing relief, creating awareness in the society, health assistance such that providing PPE stocks (masks, hand sanitizers and PPE suits) and through lump sum donations. The statistical analysis has been done in SPSS and the respondents are from Bangladesh covering eight districts. Youth organizations from Dhaka and Chittagong are the top tier actors; the main goal of this study is to measure the Bangladeshi youth-led organizations' contribution during corona crisis and to know the challenges they faced while working on field, and besides, how the funds they have raised to implement their goals. This paper defines the brief visualization of the parameters (location of youth organizations in Bangladesh, amount of funds, approaches of raising funds, reviews of government and member supports, reviews about the health consciousness against corona virus among Bangladeshis, brief discussion on youth organizations' expectations to combat those challenges they faced during societal contribution in Bangladesh) to extract their contribution's impact over Bangladeshi community during corona crisis. Youth organizations rated member support, government support. Their initiatives have impact on goals 1, 2, 8, 10, 11. These youth led organizations have great impact on social change, culture and beliefs thus contributing to SDG 11 (cities and communities); the findings will act as their means of advocacy by notifying stakeholders and will motive youth leaders.

**Keywords:** Bangladesh, youth, youth-led organizations, COVID-19, corona crisis, sustainable development goals

**Acknowledgements and Funding.** Inspiration and motivation always works behind any types of venture. Above all, I thank Almighty who have nourished us with plenty of resources in this world that paves the way to develop ourselves. In performing this article on "Moving towards Sustainable Development Goals: Initiatives of Bangladeshi Youth Organi-

© Kamruzzaman S.Md., 2020



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

zations during Corona Outbreak”, I needed to survey Bangladeshi youth organizations who supported me a lot by answering my required questions within the given period. I would like to show my profound gratitude to Ms. Margarita Redina, Editor-in-Chief of the RUDN Journal of Ecology and Life Safety, who coordinates such an esteemed journal for the RUDN students and so on. My greatest thanks pass to the editorial board who paves the way to publish journal in a systematic way. Finally, I will dedicate this article to those who are Frontline Fighters who saved life and served in the society during COVID-19. Without their support, the world communities would die and the world become an empty vessels; perhaps, world would remain with no human footprint or healthy and sustainable remarks in the world. My profound respect goes to those communities who fought against COVID-19.

**Article history:** received 23.11.2020; revised 01.12.2020.

**For citation:** Kamruzzaman S.Md. Moving towards sustainable development goals: initiatives of Bangladeshi youth organizations during corona outbreak. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):417–427. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-417-427>

## **Движение к целям устойчивого развития: инициативы бангладешских молодежных организаций во время вспышки коронавируса**

**С.Мд. Камруззаман**

*Российский университет дружбы народов,  
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6*  
✉ [sayedkamruzzaman51@gmail.com](mailto:sayedkamruzzaman51@gmail.com)

**Аннотация.** Цели исследования – измерить вклад молодежных организаций во время коронакризиса в развитие целей устойчивого развития (ЦУР) и определить влияние на различные ЦУР деятельности, проделанной обществом. В работе над целями устойчивого развития Бангладеш достигнет пика к 2030 году. Во время пандемии коронавируса бангладешская молодежь проявляет большую самоотдачу. Молодежные организации оказывают помощь путем повышения осведомленности в обществе, оказания медицинской помощи, предоставления запасных частей СИЗ (масок, дезинфицирующих средств для рук и костюмов СИЗ), а также посредством единовременных пожертвований. В исследовании участвовали респонденты из восьми районов Бангладеш, статистический анализ проведен в SPSS. Изучены проблемы, с которыми столкнулись молодежные организации при работе на местах, определено количество собранных ими для реализации своих целей средств. Выявлено, что молодежные организации из Дакки и Читтагонга являются ведущими. Дан краткий обзор параметров (местонахождение молодежных организаций, объем средств и подходы к их сбору, поддержка со стороны правительства, сознательность в отношении к собственному здоровью населения Бангладеш в условиях коронавируса, ожидания от борьбы с возникшими во время общественной деятельности проблемами) с целью продемонстрировать влияние этой деятельности на бангладешское сообщество во время коронакризиса. Установлено, что инициативы молодежных организаций, поддерживаемые государством, влияют на цели 1, 2, 8, 10, 11. Они оказывают сильное воздействие на социальные изменения, культуру и убеждения, тем самым способствуя достижению ЦУР 11 (города и сообщества). Полученные результаты привлекают к их деятельности заинтересованные стороны и мотивируют молодежь.

**Ключевые слова:** Бангладеш, молодежь, молодежные организации, COVID-19, коронакризис, цели устойчивого развития

**Благодарности и финансирование.** Вдохновение и мотивация всегда подкрепляют любые начинания. Прежде всего, я благодарю Всевышнего, который дал нам множество ресурсов в этом мире на пути нашего развития. При написании данной статьи требовалось опросить молодежные организации Бангладеш, которые оказали мне большую поддержку, отвечая на необходимые вопросы в течение определенного периода. Выражаю огромную благодарность М.М. Рединой, главному редактору журнала «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности», координирующей столь уважаемый и важный для студентов РУДН журнал, а также редколлегии, обеспечивающей его систематическую публикацию. Наконец, я посвящаю эту статью бойцам передовой, спасающим жизни и служащим обществу во время COVID-19. Без их поддержки мировые сообщества умрут и мир станет пустым сосудом (возможно, останется без человеческого влияния или здоровых и устойчивых стремлений). Я глубоко уважаю сообщества, борющиеся с COVID-19.

**История статьи:** поступила в редакцию 23.11.2020; принята к публикации 01.12.2020.

**Для цитирования:** *Kamruzzaman S.Md. Moving towards sustainable development goals: initiatives of Bangladeshi youth organizations during corona outbreak // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 417–427. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-417-427>*

## **Introduction: Bangladeshi youth and current corona situation**

Bangladesh is going through an era when number of youth is increasing and now it is 47.6 million people aged 10–24 years, or 20% of the population, out of total 158.5 million (UNFPA); that is a sign when country significantly develops herself in technology and socio-economic sectors.

National Federation for Youth Organizations (NFYO) is the planning chamber of youth organizations in the nation which incorporates 480 member organizations and around 4,000 youth organizations as its primary members [1].

Young people working for society have been awarded in different platforms to work for the society, for their social movement and proactive engagement in humanitarian activities; such as US based non for profit organization “Asia Society”, Forbes, US Department of States, 2016 Queen’s Young Leaders, etc. Young leaders are representing Bangladesh from multi-cultural organizations like Facebook, WHO, UNESCO, NASAA and so on. Over the world, Bangladeshi youth has already drawn a footprint of leadership excellence in both international and national platforms through their charismatic qualities and cultural diversification. It has to be discussed in this paper the initiatives taken by youth organizations in Bangladeshi community that have remarkable impact on sustainable development goals of a country.

32,484,997 corona virus cases found last updated on 25<sup>th</sup> September, 2020 according to Worldometers. According to the data of 27<sup>th</sup> July, 2020 published by World Health Organization, 226,225 have been confirmed as corona positive; 1,24,417 have undergone for corona test whereas over 125,683 have already recovered [2]. Bangladesh is the 15<sup>th</sup> ranked country according to Worldometers; 356,767 total cases in Bangladesh and total recovered 267,024 [3].

Due to pandemic situation, many countries are in recession right now. Unlike other countries, this pandemic has given uncertainty to business, organizations and

daily activities. But Bangladesh GDP has not dropped down due to corona outbreak. This development rate is likewise much over the financial development prediction given to Bangladesh by the World Bank (WB) at 1.6%, International Monetary Fund (IMF) at 3.8% and Asian Development Bank (ADB) at 4.5% for 2020. While these speculation predictions are for the schedule year 2020, however the BBS development prediction is for the 2019–2020 money related year. Indeed, the Bangladesh government accepts that the economy is on target to accomplish 8.2% development rate in 2020–2021 and furthermore anticipates that the economy should bounce back at a higher movement than before after the pandemic is finished (The Financial Express, August, 28). There is an understood message that the economy isn't just journeying back to pre-pandemic levels yet in addition will outperform that [4].

### **Materials and methods**

Since youth are engaging themselves in many social activities, it has been surveyed the youth organizations to get insights about what they have done and how they have done and how the things happened during COVID-19. The objective to study their initiatives during this pandemic in Bangladesh:

- to know the activities that have done for the society to identify which activity have impact on which SDGs;

- to know how they collected funds and what are the shortcoming of collecting funds since positive money flow ensures the life of an organizations; thus, it can be measured the sustainability of the organization itself;

- to get insights about their views and expectations on Bangladesh government since government has arranged many programs for them and allocated budget from the development for the youth organizations of Bangladesh;

- to get a summary of how much precautions are followed by Bangladeshis during COVID-19 that are noticed while working at the field; since a health-conscious and aware society reflect a country as “Protective Country” that bring progress in both socio-economically and culturally;

- to get informed about the recommendations and share in this paper so that the concern authority come forward to support youth organizations so that the country SDGs are properly fulfilled and satisfy the needful as per the requirements. Such that, funding support, advocacy and other supporting arrangements can be done by government and other concerns by getting a glance of this paper.

### **Government promoting youth organizations**

Youth organizations are working relentlessly to contribute to the society attain the SDGs through Vision 2021, Vision 2041 and the UN Sustainable Development Goals (2016–2030); hence, they are doing social works and government is also promoting the youth engagement in many sectors in Bangladesh. National Youth Policy 2017, National Skill Development Policy 2011, Sheikh Hasina National Youth Development Institute Act, 2017 have been initiated by the Bangladesh government to empower youth of Bangladesh that contributes to the sustainable development. Priority areas of government for youth development are empowerment (education, training, employment and entrepreneurship, development

of information technologies), health care and recreation, good governance (civic participation, social participation and social safety), sustainable development goals (sustainable development goals, education in and awareness of the environment, environment-friendly agriculture and industrialization, safe food and commodity marketing), equitable development, building healthy society, globalization and survey and research [5]. Government has accommodated many programs to build youth engagement in attaining SDGs. Thus, youth empowerment has been increased in Bangladesh in last decades; they have now multiple sectors and opportunities to work for the betterment of the society as well as for the motherland. Access to Information (a2i) in Bangladesh has come out with “Innovation Lab” which is entailed with innovation fund, youth innovation programs motivating youth of Bangladesh.

### **Bangladeshi youth organizations working against corona crisis**

34 organizations have been surveyed located in Bangladesh and among them 24 youth organizations are from Dhaka (the capital of Bangladesh) and 9 organizations are from Chittagong (one of the most industrialized districts of Bangladesh) and the other one is from Khulna. Their core working areas are ICT, social welfare, education, skill development, international affair development, legal aid, food distribution, humanitarian aid and social awareness and youth advocacy (Table 1).

Table 1

		Location		
		Frequency	Percent	Valid percent
<b>Valid</b>	Dhaka	24	70.6	70.6
	Chittagong	9	26.5	26.5
	Khulna	1	2.9	2.9
	Total	34	100.0	100.0

The core activities the surveyed youth organizations of Bangladesh are doing to contribute to the SDGs are:

- advocacy & youth empowering initiatives;
- health, education, human rights, climate change and disaster management;
- work for underprivileged children;
- youth skills development training;
- help hunger peoples around the world;
- eradication of poverty;
- help people of the country;
- assurance of fundamental right of poor people;
- promotion of social entrepreneurship and foster youth skill development programs in order to bring out positive social change;
- social welfare which includes charitable giving and also creating social awareness from different aspects according to the need of the society;
- building innovation culture around the Bangladesh;
- supplying the voice of young generation regarding current global issues;
- minimization of unemployment rate by managing works for youth;
- education, youth development, blood donation, waste management, women empowerment.

## The youth organizations activities to combat corona crisis

During this pandemic, youth organizations have moved forward to stand beside needy people and they are building awareness since the breakout of this pandemic. Study shows that they are distributing relief, providing emergency ambulance support, distributing health facilities to the refugees, food distribution, cash support, awareness campaign, hygiene materials distribution, community radio programme, IEC materials distribution, online schooling to students, awareness campaign, aid for old homes, camping to create corona awareness, helping transgender community by the help of collaboration. Details about the activities along with the names of organizations have been mentioned below.

*Relief distribution.* Dhruvotara Youth Development Foundation, Green HR Professionals Bangladesh, Food for the Hungry, Somikoron Academic Centre, Badhon Ramganj Foundation, Youth for Better Future Society, Youth School for Social Entrepreneurs (YSSE), Pashe Achi Initiative, Positive Youth Development Society of Bangladesh, Jadumoni Foundation, Bangladesh Innovation Forum, Youth for Bangladesh, Mainia Youth Forum, Lighter Youth Foundation, ProjectDebi, Bidyanondo Foundation distributed relief to needy people. This initiative impacts on SDG 1 – No Poverty and SDG 2 – Zero Hunger.

*Food distribution.* YPSA (Young Power in Social Action), Bidyanondo Foundation, Youth Nexus, Genesis Foundation, Badhon Ramganj Foundation, Pashe Achi Initiative, Nobarun Youth Charity Foundation, Impact Bangladesh, Lighter Youth Foundation, Ignite Youth Foundation, Youth for Social Aid (YFSA), Zone for Humanity, Youth for Bangladesh, Gontobbo Youth Foundation, Bidyanondo Foundation also distributed food for the poor. They provided food for Iftar to the poor at the month of Ramadan 2020.

*Fund donation to poor.* Green HR Professionals Bangladesh, Somikoron Academic Centre, National Youth Foundation Bangladesh, HYLO (Humanitarian & Youth Leading Organization), Jadumoni Foundation, Chittagong Young Star Society, Bidyanondo Foundation supported poor by handing over cash.

*Corona hygiene item distribution.* Dhruvotara Youth Development Foundation, YPSA (Young Power in Social Action), Food for the Hungry, Genesis Foundation, Badhon Ramganj Foundation, Youth for Better Future Society, Youth Nexus, Chittagong Young Star Society, Human Shadow, Mainia Youth Forum, Youth Environmental Opportunities (YEO), Ignite Youth Foundation, Youth for Social Aid (YFSA), Bidyanondo Foundation distributed corona protective items like PPE, masks, gloves, sanitizer and so on. This has impact on SDG 3 – Good Health and Well-Being.

*COVID-19 awareness.* Dhruvotara Youth Development Foundation, YPSA (Young Power in Social Action), Young Elite Community Club, Youth for Better Future Society, National Youth Foundation Bangladesh, Bangladesh Youth Empowerment Society, Futontoh Kishor Songo, Youth School for Social Entrepreneurs, Positive Youth Development Society of Bangladesh, Bangladesh Innovation Forum, Youth Nexus, Gontobbo Youth Foundation, Mainia Youth Forum. Youth School for Social Entrepreneurs organized 9 corona awareness programs to raise awareness among mass people.

Table 2

**Activities that have impacted in SDG goals**

SDGs	Activities during COVID-19
Goal 1. No poverty	Helping poor and underprivileged with providing cash support
Goal 2. Zero hunger	Distributing cooked foods, food groceries to the poor and underprivileged
Goal 3. Good health and well-being	Distributing corona protective items like PPE, mask, sanitizers and hand gloves, etc.
Goal 8. Decent work and economic growth	Corona initiatives and financing small businesses to sustain in the market
Goal 10. Reduced inequality	Supporting transgender
Goal 11. Sustainable cities and communities	Youth organizations initiatives to community engagement and work for the wellness of human-being can provide a sustainable city

*Out of box activities done by youth organizations:*

- online schooling by Young Elite Community Club;
- emergency ambulance support;
- awareness program by UK doctor organized by Bangladesh Youth Empowerment Society;
- supporting small ventures by Pashe Achi Initiative;
- policy advocacy by Dhruvotara Youth Development Foundation;
- call support to a2i by Youth Nexus;
- support to transgender community by ProjectDebi;
- 500+ online medical support by Ignite Youth Foundation.

These activities have greater impact on SDGs such that youth organizations’ steps to fight for the pandemic reflect goal 3 – Good Health and Well-Being. Nonetheless, this table indicates how and which SDGs are affected by which activities done by Youth Organizations of Bangladesh (Table 2).

**Sources of funds, its sufficiency and total expenditure for COVID-19**

According to the study, 23 organizations out 34 raised funds from their member’s donation; however, other sources of government fund, international organizational fund, individual fund and crowd funding.

67.6% the youth organizations expressed that they got the satisfactory member support for the corona combating initiatives during this hard time. 1 organization mentioned that they got international fund and other 10 organizations said that they collected their funds from individual donors, private organizations and crowd-funding and social media promotions to get funds to support the initiatives to fight against the pandemic (Table 3).

Table 3

**Sources of fund**

	Frequency	Percent	Valid percent	Cumulative percent
<b>Valid</b> International fund	1	2.9	2.9	2.9
Members’ donation	23	67.6	67.6	70.6
Others	10	29.4	29.4	100.0
Total	34	100.0	100.0	

Table 4

		Number of members			
		Frequency	Percent	Valid percent	Cumulative percent
<b>Valid</b>	Below 100	14	41.2	41.2	41.2
	101–200	2	5.9	5.9	47.1
	201–300	4	11.8	11.8	58.8
	301–400	2	5.9	5.9	64.7
	401 and above	12	35.3	35.3	100.0
	Total	34	100.0	100.0	

Table 5

		Statistics			
		Sources of fund	Rating to Governmental support towards Youth ORGs	Sufficiency of funds	Rating to member support during corona crisis
<b>N</b>	<b>Valid</b>	34	34	34	34
	<b>Missing</b>	0	0	0	0
	<b>Mean</b>	3.29412	3.00000	3.29412	4.61765
	<b>Median</b>	3.00000	3.00000	3.00000	5.00000
	<b>Mode</b>	3.000	3.000	3.000	5.000
	<b>Standard deviation</b>	.578892	1.180652	1.087934	.551291
	<b>Variance</b>	.335	1.394	1.184	.304
	<b>Range</b>	3.000	4.000	4.000	2.000

Additionally, 35.3% of youth organizations have 401 members and above, whilst 41.2% have below 100 members, still they are getting enough support from their members to work during corona crisis in Bangladesh (Table 4).

Statistics shows that out of 34 youth organizations, 23 youth organizations collected funds from member support was good (very good – 5; good – 4; 3 – moderate; 2 – poor; 1 – very poor) and members donated for their organizational purpose like distribution, relief purpose and for other support (Table 5).

Table 6

		Rating to governmental support towards youth ORGs			
		Frequency	Percent	Valid percent	Cumulative percent
<b>Valid</b>	Very bad	4	11.8	11.8	11.8
	Bad	7	20.6	20.6	32.4
	Moderate	12	35.3	35.3	67.6
	Good	7	20.6	20.6	88.2
	Very good	4	11.8	11.8	100.0
	Total	34	100.0	100.0	

However, it has been shown to the statistics that government was rated moderate as to refer the mean score of 3.29 which means it was not that much satisfactory since government arrange different plans for the development and maintenance for the youth organizations of Bangladesh (Table 6); they also provide policy advocacy to the youth organizations but unfortunately, according to the statistics, youth organizations did not get enough support from the Bangladeshi government during this pandemic (Table 6). Youth organizations mostly got support from their members in both field work level support and financial support since most of the surveyed youth organizations raised fund from their members' donations (Table 7).

Table 7

<b>Rating to member support during corona crisis</b>					
		<b>Frequency</b>	<b>Percent</b>	<b>Valid percent</b>	<b>Cumulative percent</b>
<b>Valid</b>	Moderate	1	2.9	2.9	2.9
	Satisfactory	11	32.4	32.4	35.3
	Very satisfactory	22	64.7	64.7	100.0
	Total	34	100.0	100.0	

Table 7 shows that 22 organizations rated member support as very satisfactory and 11 organizations rated member support as satisfactory. On the other hand, government support is not that satisfactory enough to work for the country to combat COVID-19.

### **Fund sufficiency and approximate expenditure to combat COVID-19**

Though member support during corona crisis was satisfactory enough but fund to support community was not sufficient enough. They need more fund to do the needful and therefore, youth organizations are seeking government support to operate their humanitarian and social initiatives smoothly. Statistics shows that 47.1% of youth organizations or 16 youth organizations out of 34 mentioned that the fund allocated for the plan was not sufficient (Table 8).

Table 8

<b>Sufficiency of funds</b>					
		<b>Frequency</b>	<b>Percent</b>	<b>Valid percent</b>	<b>Cumulative percent</b>
<b>Valid</b>	Very insufficient	2	5.9	5.9	5.9
	Insufficient	4	11.8	11.8	17.6
	Moderate	16	47.1	47.1	64.7
	Sufficient	6	17.6	17.6	82.4
	Sufficient enough	6	17.6	17.6	100.0
	Total	34	100.0	100.0	

Table 9

<b>Expenditure for corona crisis</b>					
		<b>Frequency</b>	<b>Percent</b>	<b>Valid percent</b>	<b>Cumulativep</b>
<b>Valid</b>	Below BDT. 10,000	5	14.7	14.7	14.7
	BDT. 10,000–50,000	6	17.6	17.6	32.4
	BDT. 51,000–1,00,000	5	14.7	14.7	47.1
	Above 1,00,000	18	52.9	52.9	100.0
	Total	34	100.0	100.0	

Survey conducted to 34 youth organizations and they shared that 52.9% of youth organizations or 18 youth organizations expressed that they had spent above BDT. 100,000 for the purpose of serving communities during corona crisis (Table 9).

### **Health precautions noticed while working on field during COVID-19**

Government of People’s Republic of Bangladesh has arranged many programs to raise awareness against COVID-19; thus, they do television live, radio programs and so on. Youth organizations noticed lack of health precautions among

people of Bangladesh which is life-threatening. Statistics showed that only 11.8% of people who received their relief and for whom they worked for followed health precautions against corona virus and 41.2% of surveyed youth organizations followed health safety against COVID-19 (Table 10). Thenceforth, youth organizations relentlessly worked for communities to combat COVID-19 and make the city healthy and safe from corona virus. Youth organizations risk their life to work for the communities during corona crisis in Bangladesh that has remarkable impact on SDG mentioned above at Table 2.

Table 10

**Rating on health consciousness noticed while working on corona crisis**

		<b>Frequency</b>	<b>Percent</b>	<b>Valid percent</b>	<b>Cumulative percent</b>
<b>Valid</b>	Very poor	1	2.9	2.9	2.9
	Poor	7	20.6	20.6	23.5
	Moderate	14	41.2	41.2	64.7
	Good	8	23.5	23.5	88.2
	Very good	4	11.8	11.8	100.0
	Total	34	100.0	100.0	

### Conclusion

Bangladesh youth organization are serving their best to support communities and they arrange many plans to move forward. Youth organizations are putting their effort to SDG that bring prosperity of a country. Thenceforth, it has been asked youth organizations to recommend necessary measures to have the greater efficiency in operation. Such that:

- engaging our community from the beginning of a project planning and designing;
- assurance of transparency in financial transaction from the top level management;
- financial support from NGOs and local government that can bring youth organizations smooth money flow to run their operation effectively;
- providing more collaboration with government, NPOs & NGOs to get funds and collaborative support can be exchanged among them;
- government funded training programs can be arranged so that young leaders can run their organizations with least mismanagement and efficiently with the highest level of coordination;
- specific policy should be taken to encourage corporate houses to donate for the youth organizations.

To sum up all the recommendations, it can be said that government should allocate funds for active youth organizations since youth are the powerhouse; and youth organizations are the practice field of those powerhouses. So, government should focus more on the facilities that can be provided to them; therefore, this initiatives will bring uplift of SDG of a country; so as Bangladesh. COVID-19 initiatives impacted on SDG but due to insufficient fund, they lag behind in regular operations. If government and giant actors of Bangladesh move forward to support youth organizations, they can move forward thousand times for the development of a country, for the betterment of communities that have also impact on sustainable development goals.

## References

- [1] Bangladesh National Federation of Youth Organisations in Bangladesh (NFYOB). *APYouthNet*. 2020. Available from: [http://apyouthnet.ilo.org/network/bangladesh-national-federation-of-youth-organisations-in-bangladesh-nfyob#:~:text=National%20Federation%20of%20Youth%20Organisations%20in%20Bangladesh%20\(NFYOB\)%20is%20the,organizations%20as%20its%20primary%20member](http://apyouthnet.ilo.org/network/bangladesh-national-federation-of-youth-organisations-in-bangladesh-nfyob#:~:text=National%20Federation%20of%20Youth%20Organisations%20in%20Bangladesh%20(NFYOB)%20is%20the,organizations%20as%20its%20primary%20member) (accessed: 23.11.2020).
- [2] WHO COVID-19 weekly update from 27 July, 2020. *WHO*. 2020. Available from: [https://www.who.int/docs/default-source/searo/bangladesh/covid-19-who-bangladesh-situation-reports/who-covid-19-update-22-20200727.pdf?sfvrsn=d69469dc\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/searo/bangladesh/covid-19-who-bangladesh-situation-reports/who-covid-19-update-22-20200727.pdf?sfvrsn=d69469dc_2) (accessed 23.11.2020).
- [3] Coronavirus update (live): 59,118,313 cases and 1,395,930 deaths from COVID-19 virus pandemic. *Worldometers.info*. 2020. Available from: <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries> (accessed: 25.09.2020).
- [4] Mahmood M. On Bangladesh GDP in the time of coronavirus. *The Financial Express*. 5th September 2020. Available from: <https://thefinancialexpress.com.bd/views/on-bangladesh-gdp-in-the-time-of-coronavirus-1599314452> (accessed: 23.11.2020).
- [5] *National Youth Policy 2017*. Available from: [https://dyd.portal.gov.bd/sites/default/files/files/dyd.portal.gov.bd/policies/21e565b2\\_252f\\_4f80\\_bfce\\_31a1cb33163d/Draft%20English%20Version%20of%20National%20Youth%20Policy%202017%20\(1\).pdf](https://dyd.portal.gov.bd/sites/default/files/files/dyd.portal.gov.bd/policies/21e565b2_252f_4f80_bfce_31a1cb33163d/Draft%20English%20Version%20of%20National%20Youth%20Policy%202017%20(1).pdf) (accessed: 23.11.2020).

### Сведения об авторе:

Камруззаман Сайед Мд., магистр экономических наук, Российский университет дружбы народов. E-mail: [sayedkamruzzaman51@gmail.com](mailto:sayedkamruzzaman51@gmail.com)

### Bio note:

*Sayed Md. Kamruzzaman*, Master of Sciences in Economics, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: [sayedkamruzzaman51@gmail.com](mailto:sayedkamruzzaman51@gmail.com)



## УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-428-438

УДК 630.162.5

Научный обзор / Scientific review

### **Аналитический обзор по современным исследованиям изменений биотических составляющих углеродного цикла**

**А.И. Курбатова**

*Российский университет дружбы народов,  
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6*

✉ [kurbatova-ai@rudn.ru](mailto:kurbatova-ai@rudn.ru)

**Аннотация.** Анализируются существующие исследования по изменениям пространственно-временной динамики углерода в природных экосистемах суши. Приведены работы российских и зарубежных авторов по оценке углероддепонирующей способности лесного покрова и углеродного бюджета. Описаны работы по запасам биомассы и первичной продукции биогеоценозов, исследования в области математического моделирования углеродного цикла в экосистемах суши с использованием данных дистанционного зондирования. Рассмотрены современные подходы в математическом моделировании продукционных процессов и биологических циклов элементов в растительных экосистемах. Проанализирован вклад российских и зарубежных авторов в изучение пространственно-временной динамики углерода. Показана его роль в определении секвестрационной способности растительных экосистем как важной экосистемной функции, регулирующей состояние климатического ансамбля атмосферы. Приведены исследования, касающиеся роли управляемых лесов России в смягчении изменений климата, и прогноз их углероддепонирующего потенциала на период до 2050 г. при разных сценариях лесопользования, а также основанные на моделировании различные методы оценки и прогноза запаса углерода в лесах, получившие международное признание, в их числе ИЗИС ПАСА (Австрия), EFIMOD + ROMUL (Россия), РОБУЛ (Россия), Информационная система определения и картирования депонирования лесами углерода (Россия, УГЛТУ), СВМ-CFS3 (Лесная служба Канады), FORCARB2 (Лесная служба США). Описаны работы, основанные на пространственной модели углеродного цикла в системе «атмосфера – растение – почва» (А.М. Тарко) ВЦ РАН имени А.А. Дородницына, применяемые для оценки поглотительного потенциала в различных регионах мира.

**Ключевые слова:** секвестрация CO<sub>2</sub>, пространственно-временная динамика углерода, оценка фитомассы, математическое моделирование

**История статьи:** поступила в редакцию 15.02.2021; принята к публикации 20.02.2021.



**Для цитирования:** Курбатова А.И. Аналитический обзор по современным исследованиям изменений биотических составляющих углеродного цикла // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 428–438. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-428-438>

## **Analytical review of modern studies of changes in the biotic components of the carbon cycle**

**Anna I. Kurbatova**

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

✉ [kurbatova-ai@rudn.ru](mailto:kurbatova-ai@rudn.ru)

**Abstract.** The research on changes in the spatial-temporal dynamics of carbon in natural ecosystems on land is explored. The works of Russian and foreign authors on the analysis of the depositing ability of the cover are presented. Works on biomass reserves and primary production of biogeocenoses, research in the field of mathematical modeling of the carbon cycle in terrestrial ecosystems using remote sensing data are described. The article discusses modern approaches to mathematical modeling of productive processes and biological cycles of elements in plant ecosystems. The contribution of Russian and foreign authors to the spatial-temporal dynamics of carbon is analyzed. The research data in the assessment of the sequestration capacity of plant ecosystems, as the role of an ecosystem function, performing the function of a climatic ensemble of the state of the atmosphere is given. The various modeling-based methods for assessing and forecasting carbon stocks in forests, which have received international recognition, are presented, and the role of climate in managed forests in mitigating changes and predicting their carbon storage potential for the period up to 2050 under different forest management scenarios is examined. Among them: ISIS IIASA (Austria), EFIMOD + ROMUL (Russia), ROBUL (Russia), Information System for Determination and Mapping of Carbon Deposition by Forests (Russia, UGFTU), CBM-CFS3 (Canadian Forest Service), FORCARB2 (US Forest Service). The works based on the spatial model of the carbon cycle in the “atmosphere – plant – soil” system (A.M. Tarko) of the Computing Center of the Russian Academy of Sciences, used to assess the absorption potential in various regions of the world, are outlined.

**Keywords:** sequestration of CO<sub>2</sub>, spatiotemporal dynamics of carbon, estimation of phytomass, mathematical modeling

**Article history:** received 15.02.2021; revised 20.02.2021.

**For citation:** Kurbatova AI. Analytical review of modern studies of changes in the biotic components of the carbon cycle. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):428–438. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-428-438>

### **Введение**

Наземные экосистемы при рассмотрении их общей непосредственной роли углерода, находящегося в динамике пространства и времени, являются основным участником при создании и удержании органического вещества внутри биологической массы растения. При этом после окончания жизни растительной массы углерод остается внутри на всех этапах деструкции, будь это сухостой, опад, гумус в почве или торф.

Стоит всегда правильно использовать природные ресурсы. При нерациональном подходе любая ситуация, связанная с природно-экономическим потенциалом, может выйти в плюс или минус. Так, леса, луга и земли сельскохозяйственного назначения могут быть резервуаром для долговременного сохранения углерода либо очень сильным источником выброса CO<sub>2</sub> и других парниковых газов.

Углерод очень активно накапливается в почвах. Это напрямую связано с тем, что минерализация органических веществ идет намного медленнее, нежели само накопление углерода [1]. Как указано в [1], концепция Клементса – Разумовского является индикатором соотношения процессов накопления и деструкции органического вещества в лесной экосистеме. А возрастание органического вещества почвы свидетельствует о том, что лесная экосистема может считаться стоком атмосферного углерода.

### **Анализ предметной области**

Мировой приоритет имеют проведенные исследования и учет составляющих глобального круговорота наземных растительных сообществ советскими (российскими) учеными Н.И. Базилевич, Л.Е. Родиным, Н.Н. Розовым, А.А. Титляновой, А.В. Дроздовым, А.Д. Арманом, О.Г. Чертовым, А.С. Комаровым. Подробнейшие исследования состояния и антропогенной динамики лесов России выполнены под руководством А.С. Исаева, А.З. Швиденко, В.А. Усольцева и В.И. Харука.

Оценка углерододепонирующей способности лесного покрова сегодня является одной из насущных проблем [2]. В [2] проводились работы по вычислению итоговых запасов фитомассы отдельно для каждой породы и итоговые запасы фитомассы на всей покрытой лесом площади лесхоза Пермской области РФ. Исходя из сведений, представленных в работе [3], можно сказать, что полученная на основе разработок, связанных напрямую с аллометрическими моделями, база данных содержит важную информацию о точном состоянии биологической массы и органического углерода, а также о любых колебаниях системы, касающихся пространства и времени.

В [4] подробно изложены основные методические подходы к оценке бюджета углерода. Авторы работы исследовали все типы лесных формаций в России. Особое внимание привлекли земли, находящиеся в отдалении от границ лесного фонда.

Результатами данных работ является систематизированное применение анализа и их сплетение с итогами по дистанционному зондированию планеты Земля. При этом авторы рассчитали и чистый экосистемный углеродный баланс (ЧЭУБ) покрытых лесом земель России за период 2007–2009 гг.

В [5] рассмотрены роль управляемых лесов России в смягчении изменений климата и прогноз их углерододепонирующего потенциала на период до 2050 г. при разных сценариях лесоправления. Проведена оценка стока диоксида углерода на основе модели CBM-CFS3 (Лесная служба Канады). В [6] изучены «основанные на моделировании различные методы оценки и прогноза запаса углерода в лесах, которые получили международное признание, в их числе: ИЗИС IIASA (Австрия), EFIMOD + ROMUL (Россия), РОБУЛ (Россия), Информационная система определения и картирования де-

понирования лесами углерода (Россия, УГЛТУ), CBM-CFS3 (Лесная служба Канады), FORCARB2 (Лесная служба США). Рассчитана и проиллюстрирована в картографической форме величина годичного депонирования углерода основными типами лесных экосистем зоны хвойно-широколиственных лесов Европейско-Уральской части России» [6]

В [6] приводится обзор математических моделей для изучения углеродного цикла в лесных экосистемах зоны хвойно-широколиственных лесов. Авторы отмечают значительную расходимость данных по углеродному балансу ввиду высокой степени неопределенностей, возникающих при математическом моделировании. О.Г. Чертов, М.А. Надпорожская [1] разработали и реализовали комплексную схему изучения скорости и характера трансформации поступающих органических остатков в почву и продуктов их гумификации с помощью модели ROMUL.

Сведения о запасах биомассы и первичной продукции биогеоценозов, обобщены в работах Н.И. Базилевич, Л.Е. Родина, Н.Н. Розова, А.И. Уткина.

В настоящее время разработана база данных по фитомассе лесов Северной Евразии, принадлежащая В.А. Усольцеву, содержащая около 5085 наблюдений. «На основе данных наблюдений рассчитаны многофакторные модели чистой первичной продукции (NPP) путем совмещения моделей фитомассы и NPP с банками данных лесоустройства по 150 лесхозам Уральского федерального округа на площади 127 млн га, рассчитаны запасы углерода (2679 млн т) и его годичное депонирование (165 млн т)» [6].

В лесах России круговорот углерода исследован полно в многочисленных работах [6–8].

Особую важность представляют работы, посвященные исследованию воздействия распада древостоя на углеродный баланс в таежных лесах России. Авторы [7] показали, что прогрессирующее ослабление и гибель елового древостоя в Российской Федерации, связанное с современным потеплением, приводит к трехкратному снижению стока С на значительных территориях, несмотря на сопровождающие этот процесс восстановительные сукцессии. Снижение стока связано с сохранением величины валового дыхания на фоне снижения продукции. Расчеты показывают, что увеличение площади полного распада древостоя до 27 % превращает экосистему бореального леса во вторичный источник CO<sub>2</sub> для атмосферы, что может быть использовано при дистанционных оценках влияния климатических или антропогенных воздействий на С-баланс лесов. Авторами [9] определено, что участки умирающего леса долгое время являются источниками углерода, а это сопряжено с увеличением интенсивности общего дыхания и снижением первичной продукции еловых насаждений, подтверждением чему служит значительное падение эвапотранспирации.

Воздействию на углеродный баланс лесных экосистем рубок и лесных пожаров посвящена работа [10]. В ней показано, что секвестрационная способность лесной экосистемы снижается в результате лесозаготовок и лесных пожаров, например лесные пожары явились причиной вариаций стока углерода от 53 (2003 г.) до 305 (2005 г.) Мт С/год. Результаты РОБУЛ дают следующую оценку: при сохранении низкого уровня лесопользования сток уг-

лерода в леса России будет уменьшаться, в то время как увеличение лесозаготовок неизбежно приведет к его ускорению.

Стоит заметить, что существование реабилитированных мест, сделанных на лесных вырубках и гарях, компенсирует концентрацию углерода посредством производства на своих территориях биологической массы. Если процесс использования земли некорректен, не происходит компенсации потерь [11].

Оценка эмиссии углерода в результате лесных пожаров рассматривается в работе [8]. «Результаты получены на основе спутниковых данных Института леса имени В.Н. Сукачева СО РАН, а также на оценках сгоревших материалов с учетом вариантов восстановления экосистем в зависимости от типа растительности и степени поражения пожаров» [8]. «Автором работы была разработана концептуальная методология и проведена комплексная эколого-экономическая оценка бюджета углерода насаждений с учетом влияния на них различных факторов негативного воздействия, включая рубки. На основе детального анализа данных выявлены закономерности и связи между количеством депонируемого углерода, интенсивностью воздействия неблагоприятных факторов и способом лесопользования» [12].

Поглощение углекислого газа лесными биогеоценозами, экосистемами стран мира проанализированы в работах [13–16].

Количественные оценки накопления биомассы после нарушений в лесах исследованы в [17]. Показано, что густая наземная растительность и низкая водная и питательная доступность почвы на исследуемом участке ограничивают восстановление пологообразующих деревьев и в итоге влияют на накопление биомассы. Биомасса и чистая первичная продуктивность являются важными факторами для изучения углеродного цикла [18]. Используя накопленные в литературе данные, в этом исследовании была синтезирована и проанализирована обширная база прямых полевых наблюдений лесной биомассы для Юго-Западного Китая. Комплексный региональный синтез и анализ данных, основанный на прямых полевых наблюдениях за лесной биомассой, имеют важное значение для сравнительного анализа глобальных и региональных моделей растительности и углерода, оценки регионального содержания углерода, восстановления растительности и смягчения последствий изменения климата.

В настоящее время в связи с исследованием биосферной роли лесов, их продуктивности и устойчивости на фоне глобального изменения климата возрос интерес к изучению процессов образования и поглощения парниковых газов [15]. В [19] автором «подробно исследованы основные источники поступления углерода в атмосферу в результате антропогенной деятельности и землепользования, а также процессы накопления углерода в природе и естественных резервуарах: атмосфере, биоте и океанах. Сделан прогноз углеродного баланса России в XXI веке с учетом ожидаемых изменений в выбросах углерода и их поглощения». В [20] сделан вывод о «современном балансе углерода на территории России на момент 2005–2006 гг. на основе непрерывных одиннадцатилетних мониторинговых наблюдений за эмиссией CO<sub>2</sub>, впервые получены оценки сезонных и годовых потоков CO<sub>2</sub> из почв южно-таежной зоны и рассчитана их межгодовая вариабельность, разработаны эмпирические модели, описывающие взаимосвязь между величиной сум-

марной годовой эмиссии CO<sub>2</sub> из почв различных экосистем южно-таежной зоны и количеством осадков за весенне-летний период».

«Многочисленные исследования углеродного цикла в биосфере в наземных экосистемах выявили необходимость повышения точности оценок фитомассы растительности, совершенствования методов сбора и обработки эмпирических данных» [21]. Математическое моделирование [14; 15] сводит разные сведения в рамках большой модели для соответствия концепциям и теориям. Производя эксперименты с вычислениями, можно найти соотношение к глобальным моделям, также учитывая и прогнозы. «В работе подробно систематизированы математические модели и системы оценки и прогноза запасов углерода в лесах. На основе сравнительного анализа выявлено, что несмотря на сопоставимость расчетов в модельном эксперименте, результаты, полученные разными научными коллективами, значительно расходятся в силу высокой степени неопределенности» [14].

Изменения количества углерода в гумусе и фитомассе в результате обезлесения и эрозии почвы рассчитаны для стран Центральной и Южной Америки в период с 2000 по 2060 г. с помощью пространственной математической модели глобального цикла углекислого газа в биосфере ВЦ РАН [15]. Этот анализ полезен для планирования экологических практик с целью увеличения накопления углерода в лесных пулах.

Глубинное знание глобального и регионального углеродного бюджета требуется для эффективной политики, направленной на борьбу с глобальным изменением климата. Авторами [16] создана региональная модель качества воздуха (WRF-CO<sub>2</sub>) для моделирования атмосферных вариаций CO<sub>2</sub> в регионе Большой Азии за период 2010–2012 гг.

С развитием методов спутниковых наблюдений и повышением доступности их данных стали интенсивно развиваться методы количественной оценки сезонной биомассы и ее динамики, основанные на анализе дистанционно измеряемых оптических характеристик.

Дистанционное зондирование Земли является основой для изучения ее биологического разнообразия. Стоит заметить, что ни одно изучение экологической системы не проходит без него. Основным момент, который необходимо учитывать на всех этапах, это оценка системы не только с помощью отслеживания динамики времени, но и с непосредственным учетом пространственных уровней [22]. Важно проводить оценку в деталях. Для этого прибегают к помощи статистических данных и краудсорсинга [23]. Авторы [23] «агрегировали карту лесов ФАО 2010 разрешением в 250 м, карту наземных экосистем Северной Евразии – GLC-2000, 1 км, глобальные карты земельного покрова GlobCover 2009, 300 м и MODIS 2010, 500 м, карту сомкнутости древесного полога MODIS VCF 2010, 250 м, карту лесов на основе Landsat 2010, 30 м, карты, созданные на основе радарных инструментов: маску лесов Palsar 2010, 50 м и запас лесов GSV 2010, 1 км». Созданная карта позволила оценить деградацию лесных сообществ, выявить динамику лесного покрова на территориях стран мира.

«В исследовании при картографировании лесных экосистем были использованы поверхности разрешения 90 м, полученные в ходе выполнения

международного проекта SRTM „США – Италия – Германия“ (Shuttle Radar Topography Mission – проект радарной съемки рельефа спутником Шаттл). Применение космических данных позволило провести процедуры интерполяции и экстраполяции измеренных и рассчитанных данных в точках по матрицам факторов среды» [24]. В работе выявлены тенденции исследуемых экосистем в смене адаптивных стратегий в меняющейся окружающей среде.

В [25] авторы проводят оценку накопления углерода лесами России с помощью инструментария ГИС.

Значительный вклад в оценку биомассы тропических лесов внесли авторы [26]. Они отмечают, что существует сильный синергизм между наземными и дистанционными измерениями для количественной оценки наземной биомассы. Наземные данные являются более полными в локальном масштабе, чем данные дистанционного зондирования. Наоборот, данные дистанционного зондирования обширнее, включая миллионы измерений в региональном или континентальном масштабе по сравнению с участками и обеспечивая более пространственно всеобъемлющую меру вариаций лесной биомассы.

В [27] на основе классификационных данных дистанционного зондирования лесных ресурсов использована модель интегрированного углеродного цикла земной экосистемы (InTEC) для моделирования пространственно-временной динамики лесного углерода в провинции Чжэцзян в 1985–2015 гг. и анализа его реакции на метеорологические факторы, такие как температура, осадки, относительная влажность и радиация.

Сохранение и устойчивое развитие лесов являются механизмами смягчения последствий изменения климата благодаря способности лесов поглощать углерод [28]. Таким образом, оценка биомассы позволяет оценить продуктивность лесов и контролировать углеродные бюджеты. В [28] проведена оценка и прогноз изменения биомассы экваторских лесов с помощью пространственной модели глобального углеродного цикла и нормированного дифференциального индекса растительности. Математическая модель описывает процессы роста и распада растительности в условиях углеродного обмена между атмосферой, растениями и почвой при антропогенных воздействиях.

### **Заключение**

В заключение можно сделать вывод, что современные исследования биотической составляющей углеродного цикла все больше используют интегрирование данных дистанционного зондирования Земли и расчетных данных математических моделей. Реализация заблаговременного прогноза по адекватной математической модели с использованием космических данных является на сегодняшний день перспективным направлением в оценке пространственно-временной динамики углеродного цикла в системе «атмосфера – растение – почва».

### Список литературы

- [1] Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / отв. ред. В.Н. Кудеяров ; Ин-т физ.-хим. и биолог. проблем почвоведения РАН. М. : Наука, 2007. 380 с.
- [2] Усольцев В.А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год) : монография. Екатеринбург, 2018. 265 с.
- [3] Усольцев В.А., Колчин К.В., Маленко А.А. О необходимости построения и анализа аллометрических моделей фитомассы лесных деревьев как основы корректной оценки углерододепонирующей функции лесов : аналитический обзор // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (149). С. 78–87.
- [4] Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
- [5] Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л., Блинов В.Г., Дмитриев В.В., Куриц В.А. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990–2050 гг. : ретроспективная оценка и прогноз // Метеорология и гидрология. 2013. № 10. С. 73–92.
- [6] Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Филиппчук А.Н., Золина Т.А. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода // Лесной вестник. 2017. Т. 21. № 1. С. 4–13. <http://dx.doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-4-13>
- [7] Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г., Шилкин А.В., Куманяев А.С., Попов С.Ю., Тельнова Н.О., Гитарский М.Л. Влияние прогрессирующего распада древостоя на углеродный обмен еловых лесов // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 1. С. 89–93.
- [8] Ваганов В.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Онучин А.А., Сухинин А.И., Шибистова О.Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 631–649.
- [9] Karelin D.V., Zamolodchikov D.G., Shilkin A.V., Kumanyaev A.S., Popov S.Yu., Telnova N.O., GitarSKIY M.L. The long-term effect of ongoing spruce decay on carbon exchange in Taiga forests // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 493. No. 1. Pp. 558–561.
- [10] Замолодчиков Д.Г. Баланс углерода лесов России : ретроспективный анализ и прогнозные оценки // Научные основы устойчивого управления лесами : доклады конференции. М., 2014.
- [11] Замолодчиков Д.Г. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. 2011. № 4 (29). С. 15–22.
- [12] Шимон Т.Н. Оценка влияния биотических и антропогенных факторов лесов России на бюджет углерода : дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 171 с.
- [13] Kurbatova A.I., Tarko A.M., Kozlova E.V. Impact of global climate change on ecosystem functions of African countries // Arid Ecosystems. 2017. Vol. 7. Pp. 217–223. <https://doi.org/10.1134/S2079096117040047>
- [14] Tarko A., Kurbatova A., Llerena S. Effect of CO<sub>2</sub> increase on ecological parameters of plant ecosystems of Central and South America countries // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 116. Article 00090.
- [15] Курбатова А.И., Тарко А.М. Пространственно-временная динамика углерода в нативных и нарушенных экосистемах мира. М. : РУДН, 2017. 224 с.
- [16] Ballav S., Naja M., Patra P.K. et al. Assessment of spatio-temporal distribution of CO<sub>2</sub> over greater Asia using the WRF–CO<sub>2</sub> model // J. Earth Syst. Sci. 2020. Vol. 129. Article 80. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-1352-x>
- [17] Yazaki T., Hirano T., Sano T. Biomass accumulation and net primary production during the early stage of secondary succession after a severe forest disturbance in Northern Japan // Forests. 2016. Vol. 7. Issue 11. P. 287. <https://doi.org/10.3390/f7110287>

- [18] Liu L.B., Yang H.M., Xu Y., Guo Y.M., Ni J. Forest biomass and net primary productivity in Southwestern China : a meta-analysis focusing on environmental driving factors // *Forests*. 2016. Vol. 7. Issue 8. P. 173. <https://doi.org/10.3390/f7080173>
- [19] Федоров Б.Г. Российский углеродный баланс : монография. М. : Научный консультант, 2017. 82 с.
- [20] Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России : дис. ... д-ра биол. наук. Пушино, 2010. 401 с.
- [21] Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Филиппчук А.Н., Золина Т.А. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода // *Лесной вестник*. 2017. Т. 21. № 1. С. 4–13. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-4-13>
- [22] Еришов Д.В., Лукина Н.В., Барталев С.А., Лулян Е.А. Роль дистанционных данных в системе мониторинга биологического разнообразия, оценки экосистемных функций и услуг лесов : пленарный доклад // *Научные основы управления лесами*. М. : ЦЭПЛ РАН, 2014.
- [23] Щепашченко Д.Г., Швиденко А.З., Лесив М.Ю., Онтиков П.В., Щепашченко М.В., Краксер Ф. Площадь лесов России и ее динамика на основе синтеза продуктов дистанционного зондирования // *Лесоведение*. 2015. № 3. С. 163–171.
- [24] Коломыйц Э.Г., Керженцев А.С., Шарая Л.С. Аналитические и картографические модели устойчивости лесных экосистем // *Теоретические и практические аспекты функциональной экологии : доклады конференции (27–29 октября 2016 г., Пушино)*. Пушино, 2016.
- [25] Malysheva N., Zolina T., Dedova V. Estimation of carbon sequestration by Russian forests : geospatial issue // *InterCarto. InterGIS*. 2017. Vol. 23. Pp. 373–382. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382>
- [26] Saatchi S.S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2011. Vol. 108. No. 24. Pp. 9899–9904. URL : <http://www.pnas.org/content/108/24/9899> (accessed : 01.02.2021).
- [27] Zheng J., Mao F., Du H., Li X., Zhou G., Dong L., Zhang M., Han N., Liu T., Xing L. Spatiotemporal simulation of net ecosystem productivity and its response to climate change in subtropical forests // *Forests*. 2019. Vol. 10. No. 8. P. 708. <https://doi.org/10.3390/f10080708>
- [28] Llerena S., Tarko A., Kurbatova A., Kozhevnikova P. Assessment of carbon dynamics in Ecuadorian forests through the Mathematical Spatial Model of Global Carbon Cycle and the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 96. Article 02002.

## References

- [1] Kudayarov VN. (ed.) *Modeling the dynamics of organic matter in forest ecosystems*. Moscow: Nauka Publ.; 2007. (In Russ.)
- [2] Usoltsev VA. *Carbon sequestration by forests of the Ural region of Russia (on the base of Forest State Inventory data 2007)*. Yekaterinburg; 2018. (In Russ.)
- [3] Usoltsev VA, Kolchin KV, Malenko AA. On the need to construct and analyze allometric models of forest tree phytomass as the basis for a correct assessment of the carbon-containing function of forests: analytical review. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2017;3(149):78–87. (In Russ.)
- [4] Shvidenko AZ, Shchepashchenko DG. Carbon budget of Russian forests. *Siberian Forest Journal*. 2014;(1):69–92. (In Russ.)
- [5] Zamolodchikov DG, Grabovsky VI, Korovin GN, Gitarsky ML, Blinov VG, Dmitriev VV, Kurts VA. Carbon budget of managed forests of the Russian Federation in 1990–2050: retrospective assessment and forecast. *Meteorology and Hydrology*. 2013;(10):73–92. (In Russ.)

- [6] Malysheva NV, Moiseev BN, Filipchuk AN, Zolina TA. Methods for assessing the carbon balance in forest ecosystems and the possibility of their use for calculating annual carbon deposition. *Forestry Bulletin*. 2017;21(1):4–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-4-13>
- [7] Karelin DV, Zamolodchikov DG, Shilkin AV, Kumanyaev AS, Popov SYu, Telnova NO, Gitarsky ML. The influence of the progressive decay of the forest stand on the carbon exchange of spruce forests. *Doklady Earth Sciences*. 2020;493(1):89–93. (In Russ.)
- [8] Vaganov VA, Vedrova EF, Verkhovets SV, Efremov SP, Efremova TT, Kruglov VB, Onuchin AA, Sukhinin AI, Shibistova OB. Forests and swamps of Siberia in the global carbon cycle. *Siberian Ecological Journal*. 2005;(4):631–649. (In Russ.)
- [9] Karelin DV, Zamolodchikov DG, Shilkin AV, Kumanyaev AS, Popov SYu, Telnova NO, Gitarskiy ML. The long-term effect of ongoing spruce decay on carbon exchange in Taiga forests. *Doklady Earth Sciences*. 2020;493(1):558–561.
- [10] Zamolodchikov DG. Carbon balance of Russian forests: a retrospective analysis and forecast estimates. *Scientific Foundations of Sustainable Forest Management: Conference Reports*. Moscow; 2014. (In Russ.)
- [11] Zamolodchikov DG. Systems for assessing and forecasting carbon stocks in forest ecosystems. *Sustainable Forest Management*. 2011;4(29):15–22. (In Russ.)
- [12] Shimon TN. *Assessment of the impact of biotic and anthropogenic factors of Russian forests on the carbon budget*. Dissertation of the Candidate of Biological Sciences. Moscow; 2008. (In Russ.)
- [13] Kurbatova AI, Tarko AM, Kozlova EV. Impact of global climate change on ecosystem functions of African countries. *Arid Ecosystems*. 2017;7:217–223. <https://doi.org/10.1134/S2079096117040047>
- [14] Tarko A, Kurbatova A, Llerena S. Effect of CO<sub>2</sub> increase on ecological parameters of plant ecosystems of Central and South America countries. *E3S Web of Conferences*. 2019;116:00090.
- [15] Kurbatova AI, Tarko AM. *Spatiotemporal dynamics of carbon in native and disturbed ecosystems of the world*. Moscow: RUDN Publ.; 2017. (In Russ.)
- [16] Ballav S, Naja M, Patra PK, et al. Assessment of spatio-temporal distribution of CO<sub>2</sub> over greater Asia using the WRF–CO<sub>2</sub> model. *J. Earth Syst. Sci*. 2020;129:80. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-1352-x>.
- [17] Yazaki T, Hirano T, Sano T. Biomass accumulation and net primary production during the early stage of secondary succession after a severe forest disturbance in Northern Japan. *Forests*. 2016;7(11):287. <https://doi.org/10.3390/f7110287>
- [18] Liu LB, Yang HM, Xu Y, Guo YM, Ni J. Forest biomass and net primary productivity in Southwestern China: a meta-analysis focusing on environmental driving factors. *Forests*. 2016;7(8):173. <https://doi.org/10.3390/f7080173>
- [19] Fedorov BG. *Russian carbon balance*. Moscow: Nauchnyi Konsultant Publ.; 2017. (In Russ.)
- [20] Kurganova IN. *Carbon dioxide emissions and balance in terrestrial ecosystems of Russia*. Dissertation of the Doctor of Biological Sciences. Pushchino; 2010. (In Russ.)
- [21] Malysheva NV, Moiseev BN, Filipchuk AN, Zolina TA. Methods for assessing the carbon balance in forest ecosystems and the possibility of their use for calculating annual carbon deposition. *Forestry Bulletin*. 2017;21(1):4–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-4-13>
- [22] Yershov DV, Lukina NV, Bartalev SA, Lupyan EA. The role of remote data in the system of biological diversity monitoring, assessment of ecosystem functions and forest services: plenary report. In: *Scientific Bases of Forest Management*. Moscow: CEPL RAS; 2014. (In Russ.)
- [23] Shchepashchenko DG, Shvidenko AZ, Lesiv MYu, Ontikov PV, Shchepashchenko MV, Kraksner F. The forest area of Russia and its dynamics based on the synthesis of remote sensing products. *Lesovedenie*. 2015;(3):163–171. (In Russ.)

- [24] Kolomyts EG, Kerzhentsev AS, Sharaya LS. Analytical and cartographic models of forest ecosystem sustainability. *Theoretical and Practical Aspects of Functional Ecology: Proceedings of the Conference (27–29 October 2016, Pushchino)*. Pushchino; 2016. (In Russ.)
- [25] Malysheva N, Zolina T, Dedova V. Estimation of carbon sequestration by Russian forests: geospatial issue. *InterCarto. InterGIS*. 2017;23:373–382. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382>
- [26] Saatchi SS, et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2011;108(24):9899–9904. Available from: <http://www.pnas.org/content/108/24/9899> (accessed: 01.02.2021).
- [27] Zheng J, Mao F, Du H, Li X, Zhou G, Dong L, Zhang M, Han N, Liu T, Xing L. Spatio-temporal simulation of net ecosystem productivity and its response to climate change in subtropical forests. *Forests*. 2019;10(8):708. <https://doi.org/10.3390/f10080708>
- [28] Llerena S, Tarko A, Kurbatova A, Kozhevnikova P. Assessment of carbon dynamics in Ecuadorian forests through the Mathematical Spatial Model of Global Carbon Cycle and the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI). *E3S Web of Conferences*. 2019;96:02002.

**Сведения об авторе:**

*Курбатова Анна Игоревна*, кандидат биологических наук, доцент, кафедра экологического мониторинга и прогнозирования, экологический факультет, Российский университет дружбы народов. E-mail: [kurbatova-ai@rudn.ru](mailto:kurbatova-ai@rudn.ru)

**Bio note:**

*Anna I. Kurbatova*, PhD in Environmental Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Monitoring and Forecasting, Faculty of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: [kurbatova-ai@rudn.ru](mailto:kurbatova-ai@rudn.ru)