



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

2020 Том 28 № 3

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3

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

Научный журнал

Издается с 1993 г.

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

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

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

Главный редактор

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

Гатто Леонардо – профессор Университета Палермо, Палермо, Италия

Зоренко Татьяна Анатольевна – хабилитированный доктор биологических наук, профессор биологического факультета Латвийского университета, Рига, Латвия

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

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

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

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

Подписано в печать 14.04.2021. Выход в свет 21.04.2021. Формат 70×108/16.

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

Усл. печ. л. 9,80. Тираж 500 экз. Заказ № 621. 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



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2020 VOLUME 28 NUMBER 3

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3

<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 Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

EDITORIAL BOARD

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 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

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

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

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

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

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

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

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 of the Institute of Biology of the Shandong University, Jinan, China

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

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

4 issues per year.

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В.** Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова 201
- Дьякова Н.А.** Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье тысячелистника обыкновенного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области 213
- Красноперова С.А., Борисова Е.А.** Мониторинг эрозионных процессов и состояния растительного покрова рекультивированного полигона твердых коммунальных отходов 225
- Mammadova J.S.** Factors influencing to formation of geosystems of southern slope of the Greater Caucasus in the Republic of Azerbaijan and assessment of landscape-environmental capacity (Факторы, влияющие на формирование экосистем южного склона Большого Кавказа в пределах Азербайджанской Республики, и оценка ландшафтно-экологического потенциала) 237
- Вацалова Т.В., Гармышев В.В.** Загрязнение атмосферы Иркутской области в результате природных пожаров и оценка риска здоровью населения 252

ЭКОЛОГИЯ

- Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Кулагин А.Ю.** Дистанционный мониторинг зеленых насаждений Уфы за 1988–2018 годы 263
- Мазина С.Е., Попкова А.В.** Распределение фотосинтезирующих видов в пещерах гротового типа разных регионов 275
- Castro I.J.S., Coelho P.A.S., Vanisova E.A.** Diversity and abundance of copepods on the north coast of Angola during hot season 2014–2016 (Разнообразие и численность копепод на северном побережье Анголы в жаркий сезон 2014–2016 гг.) 285

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Елшештави А., Гаврилова Л.А., Лимонов А.Н., Елшеви М.** Влияние формы и размера маркированных точек на точность фотограмметрических построений 293

CONTENTS

GEOECOLOGY

- Gorbunov R.V., Gorbunova T.Yu., Tabunshchik V.A., Drygval A.V.** The radiation balance of oak forest ecosystems of the Crimean Peninsula 201
- Dyakova N.A.** Peculiarities of accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of plain thousand, collected in urban and agriobionoses of the Voronezh region 213
- Krasnoperova S.A., Borisova E.A.** Monitoring of the erosion processes and the vegetation cover of the reclaimed landfill solid municipal waste 225
- Mammadova J.S.** Factors influencing to formation of geosystems of southern slope of the Greater Caucasus in the Republic of Azerbaijan and assessment of landscape-environmental capacity 237
- Vashchalova T.V., Garmyshev V.V.** Atmospheric pollution of the Irkutsk region as a result of natural fires and public health risk assessment 252

ECOLOGY

- Rakhmatullina I.R., Rakhmatullin Z.Z., Kulagin A.Yu.** Remote monitoring of green plants of Ufa in 1988–2018 263
- Mazina S.E., Popkova A.V.** Distribution of photosynthetic species in grotto type caves of different regions 275
- Castro I.J.S., Coelho P.A.S., Vanisova E.A.** Diversity and abundance of copepods on the north coast of Angola during hot season 2014–2016 285

ENVIRONMENTAL DEFENCE

- Elshestawy A., Gavrilova L.A., Limonov A.N., Elshewy M.** Influence of the shape and size of the ground targets on the accuracy of photogrammetric processing 293



ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212

УДК 504:631

Научная статья

Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова

Р.В. Горбунов✉, Т.Ю. Горбунова, В.А. Табунщик, А.В. Дрыгваль

*Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
Российская Федерация, 299011, Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2*

✉ karadag_station@mail.ru

Аннотация. Изучение реакции лесных экосистем на климатические изменения является одной из актуальных задач современной экологии. Региональные проявления глобальных климатических изменений приводят к особым реакциям лесных экосистем. Основным источником энергии всех процессов в экосистемах является солнечная радиация. Именно она запускает все процессы трансформации вещества, энергии и информации в экосистеме. Изменение ее поступления приводит к перестройке системы функционирования экосистем. Для Крымского полуострова на сегодняшний день вопросы реакции лесных экосистем на климатические изменения остаются мало изученными. Это определяет актуальность и цель данной работы. На основе ландшафтно-типологической карты Крымского полуострова, открытых баз данных реанализов, а также геоинформационного моделирования произведена оценка элементов радиационного баланса дубовых лесных экосистем Крымского полуострова в условиях современных климатических изменений. Показаны основные закономерности формирования радиационного баланса дубовых лесных экосистем и особенности его межгодовой динамики.

Ключевые слова: радиационный баланс, лес, дубовый лес, экосистема дубового леса, Крымский полуостров, Крым

Введение

Современное изменение климата оказывает воздействия на все процессы, протекающие в экосистемах, как природных, так и антропогенных. В этом аспекте можно говорить об уязвимости экосистем, их устойчивости и адаптации к климатическим изменениям. Все эти направления устойчиво вошли в современный научный обиход и активно изучаются исследователями ми-



рового сообщества. Совокупность всех этих понятий и процессов, стоящих за ними, – это реакция экосистем на климатические изменения. Говоря о реакциях, можно судить о том, что они наблюдаются как на уровне структуры экосистем – изменение ее компонентного состава, морфологической структуры ландшафтов, например под действием склоновых процессов, так и на уровне функционирования. Изменения климата приводят к изменению структуры радиационного, теплового, водного и вещественного состава экосистем, формируя таким образом трансформацию потоков вещества, энергии и информации в экосистеме. Причем эти изменения формируют цепь событий, при развитии которых функциональные изменения приводят к структурным трансформациям в экосистеме [1].

Основным источником энергии всех процессов в экосистеме является солнечная радиация. Именно поэтому с изменением радиационного баланса экосистем запускается вся цепь событий, связанных с реакцией на климатические изменения.

Крымские леса, находясь на границе своего ареала [2] и по своей сути являясь геоэкономом регионального масштаба [3], в силу своей слабой устойчивости наиболее подвержены климатическим изменениям. Структура лесов Крымского полуострова хорошо описана в работах [4–6]. В них показано, что значительную площадь Крымских гор занимают дубовые леса, распространившие свой ареал как на северном, так и на южном макросклонах Крымских гор. Кроме того, дубовые леса занимают все высотные уровни Горного Крыма, что делает их интересным и актуальным объектом исследования с точки зрения изучения их реакции на региональные проявления глобальных климатических изменений.

Таким образом, целью данной работы явилось изучение межгодовой динамики радиационного баланса дубовых лесов Крымского полуострова на фоне региональных проявлений изменения климата.

Методы и материалы

В качестве операционно-территориальной единицы исследования были выбраны ландшафтные контуры, представленные на ландшафтно-типологической карте Крыма Г.Е. Гришанкова [7]. На основе данной карты и карты лесной растительности Горного Крыма [2] были выбраны наиболее типичные ландшафтные контуры с дубовыми лесами. Согласно Ю.В. Плугатаря [6], лесные экосистемы с дубом пушистым являются преобладающими по площади в Горном Крыму. Ими занято почти 142 тыс. га, что составляет 54,7 %. При этом дуб скальный и дуб пушистый являются наиболее распространенными по занимаемой площади – 78,3 и 21,5 % соответственно. Именно поэтому в качестве модельных территорий нами были выбраны эти типы лесных экосистем. Вместе с тем, учитывая значительные экологические различия формирования лесных экосистем на южном и северном макросклонах Крымских гор, а также в условиях высотной поясности, нами были выбраны для рассмотрения ландшафтные контуры, расположенные в различных высотных поясах на южном и северном макросклонах Горного Крыма. В табл. 1 приводится характеристика выбранных контуров.

Расчет радиационного баланса (B) осуществлялся по формуле [8]:

$$B = (Q - R) - E_e,$$

где Q – суммарная солнечная радиация; R – отраженная солнечная радиация; E_e – эффективное излучение.

Таблица 1

Характеристика выбранных ландшафтных контуров для изучения динамики радиационного баланса дубовых экосистем

Макросклон	Ландшафтный уровень	Тип лесной экосистемы	
		Скальнодубовые	Пушистодубовые
Северный	Низкогорье	54. Низкогорные куэстовые сильно расчлененные возвышенности с дубовыми лесами	46. Мелкогорно-куэстовые возвышенности с зарослями типа «дубки» и разнотравными степями
	Среднегорье	71. Структурные наклонные слабо расчлененные равнины с дубовыми и смешанными широколиственными лесами	–
Южный	Низкогорье	–	120. Эрозионное овражно-балочное ступенчато-склоновое низкогорье с дубовыми лесами и шибляковыми зарослями
	Среднегорье	92. Среднегорный ступенчато-склоновый с выходами коренных пород в виде скал с дубовыми, грабово-дубовыми лесами и лесокустарниковыми зарослями	–

Table 1

Characteristic of selected landscape contours for studying dynamics of oak ecosystems radiation balance

Macroslope	Landscape level	Forest ecosystem type	
		<i>Quercus petraea</i> forests	<i>Quercus pubescens</i> forests
Northern	Low-mountain relief	54. Low-mountain, cuesta, strongly dissected elevations under oak forests	46. Small-mountain, cuesta elevations under “dubki” scrubs type and forb steppe
	Middle-mountain relief	71. Structural, inclined, slightly dissected plains under oak and mixed broad-leaved forests	–
Southern	Low-mountain relief	–	120. Eroded, ravine-beam step-sloped low-mountain relief under oak forests and sheblyak scrubs
	Middle-mountain relief	92. Middle-mountain, step-sloped relief with rock outcrop in the form of cliff under oak, hornbeam-oak forests and forest-shrub thicket	–

Расчеты поступающей солнечной радиации выполнены на основе данных реанализа по материалам Европейской организации спутниковой метеорологии (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT) [9]. Набор данных представлен файлами в формате netCDF, используемом для хранения многоспектральных данных. Из базы данных были взяты среднемесячные показатели по суммарной и прямой солнечной радиации с 1983 по 2015 г. Данные были преобразованы в формат geotiff с извлечением информации по территории Крымского полуострова и представлены в виде слоев за каждый месяц каждого года. В программе ArcGIS 10.2 при помощи

функции Raster Calculator были рассчитаны значения поступления суммарной солнечной радиации в Крыму в сумме за год. На основе полученных растров с помощью функции Raster to Point в ArcGIS 10.2 был получен слой регулярной сети точек с расстоянием между ними $0,05^\circ$. Далее по точкам, которые попадают в пределы рассматриваемых контуров (табл. 1), из полученных ранее карт поступления суммарной солнечной радиации были извлечены значения величины суммарной солнечной радиации. В результате для каждого контура была сформирована атрибутивная таблица, содержащая сведения о поступлении суммарной солнечной радиации в каждой точке в пределах рассматриваемого контура. Полученная таблица была экспортирована в MS Excel для последующих расчетов.

Отраженная радиация рассчитывалась по формуле [8]

$$R = A \cdot Q,$$

где A – альbedo земной поверхности.

Альbedo определялось по данным, приведенным в [10].

Разность между суммарной и отраженной радиацией дает величину поглощенной коротковолновой радиации, или коротковолнового радиационного баланса (B_s).

Эффективное излучение земной поверхности определялось по формуле [8]

$$E_e = E_s - \delta E_a,$$

где E_s – поток теплового излучения подстилающей поверхности, направленный в сторону атмосферы; E_a – противоизлучение атмосферы; δ – относительная излучательная способность поверхности.

Поток теплового излучения подстилающей поверхности, направленный в сторону атмосферы, определялся по формуле [8]

$$E_s = \delta \sigma T^4,$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана; T – температура воздуха.

Данные по температуре воздуха были сгенерированы с помощью программного пакета ClimateEU v4.63, доступного по адресу <http://tinyurl.com/ClimateEU> [11], на основе методологии, описанной в [12].

Для получения данных реанализа с помощью программы ClimateEU в программе ArcGIS 10.2 на территорию Крымского полуострова был создан слой точек с расстоянием между ними $0,01^\circ$. С помощью функции X, Y Coordinate для каждой точки были извлечены координаты широты и долготы. Из космического снимка SRTM были получены значения абсолютной высоты для каждой из заданных точек. Эта база в табличном варианте была перенесена в MS Excel и подгружена в программу ClimateEU, где для каждой из заданных точек была получена база данных, содержащая информацию о температуре воздуха по месяцам за период с 1983 по 2013 г.

На основании полученного файла MS Excel в программе Arc GIS 10.2 был построен точечный шейп-файл, содержащий атрибутивную таблицу с полученными значениями среднемесячных температур за каждый год указанного периода. Интерполяция полученных значений позволила построить серию карт, которые в дальнейшем при помощи функции Raster Calculator усреднялись до среднегодовых.

Далее для каждого из рассматриваемых контуров были получены атрибутивные таблицы, содержащие данные по температурам в точках, попадающих в пределы рассматриваемых ландшафтных контуров.

Противоизлучение атмосферы определялось по формуле Д. Брента:

$$E_a = \delta \sigma T^4 (a' + b\sqrt{e}),$$

где $a' = 1 - a$; a и b – эмпирические константы; e – парциальное давление водяного пара.

Согласно М.Е. Берлянд и Т.Г. Берлянд [8], $a = 0,39$; $b = 0,058$.

С целью определения величин парциального давления водяного пара использовалась база данных реанализа MERRA-2, которая позволяет получить данные по выбранной точке в пространстве. Данные генерируются системой сразу в файл MS Excel. На основе полученных данных о среднемесячных значениях относительной влажности воздуха и атмосферного давления в пределах рассматриваемых контуров были рассчитаны значения парциального давления водяного пара.

Результаты исследований и их обсуждение

Структура радиационного баланса рассматриваемых лесных экосистем представлена в табл. 2. Для всех рассматриваемых лесных экосистем характерен положительный радиационный баланс, который снижается с увеличением высотного расположения лесов на северном макросклоне. Для южного макросклона наблюдается обратная картина – южнобережные низкогорные пушистодубовые лесные экосистемы характеризуются значительно более низкими значениями величин радиационного баланса, по сравнению с остальными рассматриваемыми контурами. Это объясняется рядом факторов. Основной среди них – пространственная дифференциация полей суммарной солнечной радиации над территорией Крымского полуострова – максимальные значения поступления солнечной радиации в Крыму характерны не для Южного берега Крыма, а для западного побережья. Зона распространения пушистодубовых сообществ, характеризующаяся максимальной площадью без дефрагментации в пространстве характерна для Юго-Восточного Крыма, где и располагается выбранный в работе ландшафтный контур. Кроме того, для Юго-Восточного Крыма существует эффект затенения солнечной радиацией от Главной гряды Крымских гор, что также снижает количество поступающей солнечной радиации и, соответственно, величины радиационного баланса.

Таблица 2

Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова, МДж/м²-год
[Table 2. Radiation balance of oak forest ecosystems of the Crimean peninsula, MJ/m²-year]

№ контура [No. contours]	Коротковолновая радиация [Shortwave radiation]			Длинноволновая радиация [Longwave radiation]			B
	Q	R	B _s	E _s	E _a	E _e	
46	5095,0	917,1	4177,9	11586,2	9135,7	2450,5	1727,4
54	5061,2	911,0	4140,9	11475,6	9021,2	2454,4	1686,5
71	4711,3	848,0	3863,3	11308,8	8805,3	2503,3	1359,7
92	5227,2	940,9	4286,3	11385,6	8922,7	2462,9	1823,5
120	4979,8	896,4	4083,4	11559,1	9120,2	2438,9	1644,6

Максимальные значения элементов радиационного баланса характерны для среднегорных скальнодубовых лесов южного макросклона, что объясняется высокими значениями крутизны рельефа в зоне их произрастания, определяющей высокие значения суммарной солнечной радиации и практически полного отсутствия эффекта затенения и закрытости склонов.

Для всех рассматриваемых лесных экосистем характерны высокие значения величин потока теплового излучения подстилающей поверхности, направленного в сторону атмосферы, что объясняется его формированием не столько за счет приходящей коротковолновой радиации, сколько циркуляцией воздушных масс над Крымским полуостровом.

Являясь функцией от приходящей суммарной солнечной радиации, а также циркуляции воздушных масс на региональном и локальном уровнях, тепловой поток от земной поверхности компенсируется противоизлучением атмосферы, выравнивая значения эффективного излучения. В результате значения эффективного излучения закономерно возрастают с повышением высотного уровня как на северном, так и на южном макросклонах Крымских гор.

Выявленные закономерности отражают среднемноголетнее усреднение значений элементов радиационного баланса за рассматриваемых период. Вместе с тем с точки зрения изучения реакции лесных экосистем на климатические изменения интересным является анализ межгодовой динамики величин радиационного баланса для каждого рассматриваемого типа лесных экосистем.

Графически изменение радиационного баланса на рассматриваемых ключевых участках показано на рис. 1 и 2. За период с 1983 по 2013 г. радиационный баланс пушистодубовых лесов низкогорья северного макросклона Крымских гор изменялся от 1401,1 до 2020,2 МДж/м²·год. Среднее значение составило 1727,4 МДж/м²·год. Во временном ряде отчетливо прослеживаются два периода – с 1983 по 1997 г. и с 1998 по 2013 г., что соответствует границе циркуляционных периодов в пределах меридиональной южной циркуляционной эпохи Северного полушария [13]. При этом, если сравнивать первый период со вторым, наблюдается рост радиационного баланса. В первый период среднее значение составляет 1621,8 МДж/м²·год, а во второй – 1826,4 МДж/м²·год. Общий тренд радиационного баланса направлен на повышение, причем в первом периоде среднегодовые колебания радиационного баланса значительные и могут достигать от года к году 350–400 МДж/м²·год, в то время как во втором периоде наблюдается более плавный ход радиационного баланса и изменения от года к году составляют 200–250 МДж/м²·год без значительных резких колебаний. Если рассматривать первый период, то к 1997 г. наблюдается тренд на незначительное уменьшение радиационного баланса, а во втором периоде тренд на его значительный рост.

Радиационный баланс пушистодубовых лесов низкогорья южного макросклона Крымских гор за период с 1983 по 2013 г. изменялся от 1310,6 до 1923,4 МДж/м²·год. Среднее значение составило 1644,6 МДж/м²·год. Во временном ряде радиационного баланса пушистодубовых лесов южного макросклона Крымских гор, так же как и северного макросклона, прослеживается два временных периода. Отправной точкой раздела служит 1998 г. Если до

1998 г. радиационный баланс изменялся значительно с большими перепадами значений, то после ход кривой радиационного баланса становится более сглаженным и наблюдается тенденция к его увеличению (преобладают среднегодовые значения более 1600 МДж/м²·год). При этом пушистодубовые леса низкоргорья южного макросклона Крымских гор имеют радиационный баланс, который выше радиационного баланса пушистодубовых лесов северного макросклона Крымских гор в среднем на 100 МДж/м²·год.

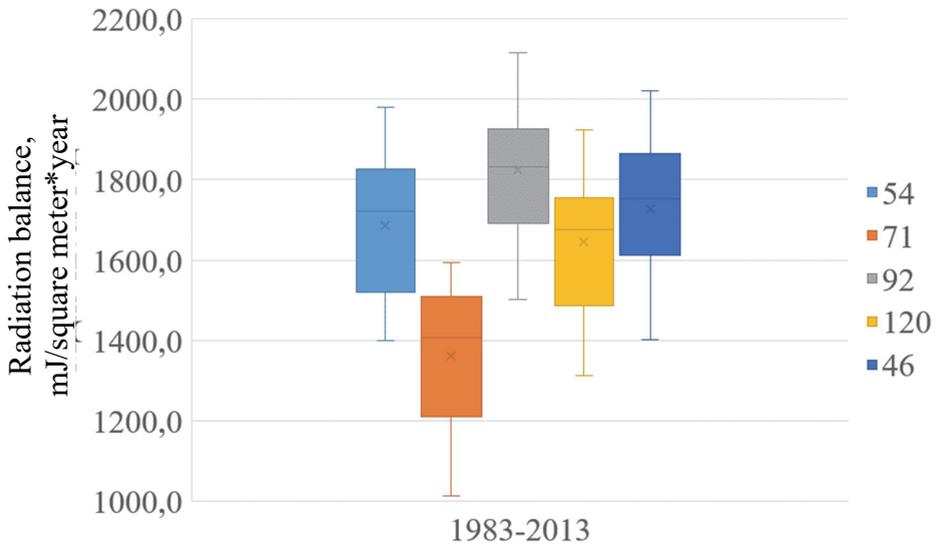


Рис. 1. Распределение годовых показателей радиационного баланса на территории ключевых участков за период с 1983 по 2013 г.
 [Figure 1. Distribution of annual indicators of radiation balance in the key plots territory for the period from 1983 to 2013]

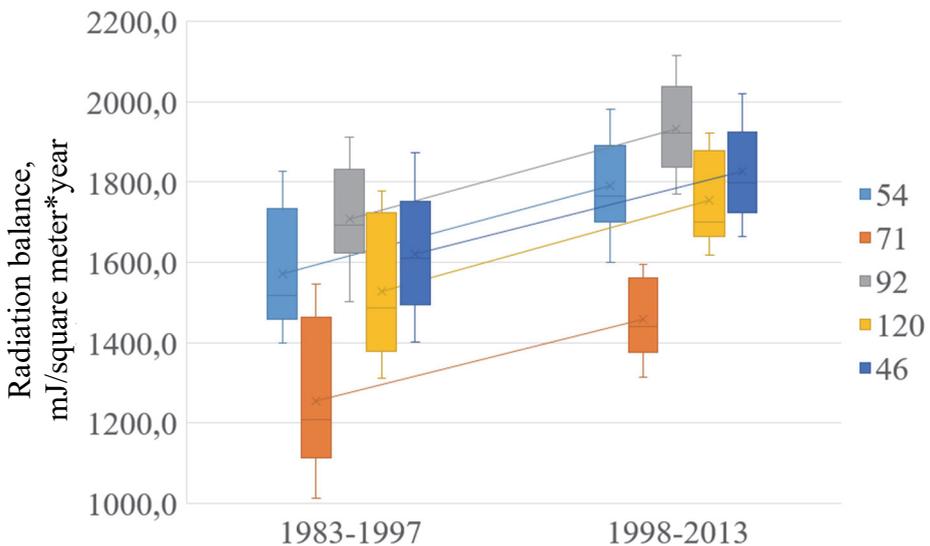


Рис. 2. Распределение годовых показателей радиационного баланса на территории ключевых участков за период с 1983 по 1997 г. и с 1998 по 2013 г.
 [Figure 2. Distribution of annual indicators of radiation balance in the key plots territory for periods from 1983 to 2013 and from 1998 to 2013]

За период с 1983 по 2013 г. радиационный баланс скальнодубовых лесов низкогорья северного макросклона Крымских гор изменялся от 1417,5 до 1981,5 МДж/м²·год. Среднее значение составило 1686,5 МДж/м²·год. Анализ временного ряда также показывает наличие двух периодов. В период с 1983 по 1997 г. среднее значение радиационного баланса составляет 1574,2 МДж/м²·год, а в период с 1998 по 2013 г. – 1791,8 МДж/м²·год, что практически на 200 МДж/м²·год больше. При этом, если рассматривать первый период, то для ключевого участка наибольшее количество значений радиационного баланса приходилось на диапазон значений от 1450 до 1500 МДж/м²·год (при среднем значении за первый период 1574,2 МДж/м²·год), а во второй период на диапазон значений от 1850 до 1900 МДж/м²·год (при среднем значении за второй период 1791,3 МДж/м²·год).

Радиационный баланс скальнодубовых лесов среднегорья северного макросклона Крымских гор за период с 1983 по 2013 г. изменялся от 1011,1 до 1594,3 МДж/м²·год. Среднее значение составило 1359,7 МДж/м²·год. На данном ключевом участке зафиксированы самые низкие значения радиационного баланса. Наибольшее количество значений приходится на диапазон значений от 1450 до 1500 МДж/м²·год. При этом также выделяются два периода с различными характеристиками значений радиационного баланса. Среднее значение радиационного баланса для ключевого участка за первый период составляет 1254,5 МДж/м²·год, а для второго – 1458,4 МДж/м²·год.

За период с 1983 по 2013 г. радиационный баланс скальнодубовых лесов среднегорья южного макросклона Крымских гор изменялся от 1502,6 до 2115,5 МДж/м²·год. Среднее значение составило 1823,5 МДж/м²·год. В отличие от всех вышерассмотренных ключевых участков скальнодубовые леса среднегорья южного макросклона Крымских гор характеризуются наибольшими значениями радиационного баланса, которые за рассматриваемый период превышают 1500 МДж/м²·год. За рассматриваемый период тренд радиационного баланса направлен на увеличение.

Заключение

В результате проведенных исследований получены среднеголетние величины радиационного баланса дубовых лесных экосистем Крымского полуострова. Выявлены особенности пространственной дифференциации радиационного баланса дубовых лесных экосистем в зависимости от их приуроченности к ландшафтному уровню – снижение значений элементов радиационного баланса с увеличением высоты на северном макросклоне Крымских гор и обратный эффект на южном макросклоне, обусловленный пространственной дифференциацией полей суммарной солнечной радиации в Крыму. Указанный эффект формирует более низкие значения радиационного баланса у низкогорных пушистодубовых сообществ южного макросклона, по сравнению с аналогичными экосистемами северного макросклона, география распространения которых приурочена к западному сектору Предгорья, попадающему в зону максимальных среднеголетних значений суммарной солнечной радиации в Крыму.

Выявлено, что максимальными величинами элементов радиационного баланса обладают среднегорные скальнодубовые экосистемы южного макро-

склона, что обусловлено высокими значениями крутизны рельефа в зоне их формирования и практически полным отсутствием эффектов затенения и закрытости склонов.

В межгодовой динамике величин радиационного баланса во всех рассматриваемых экосистемах установлены два периода: до конца 1997 г. и с начала 1998 г., что согласуется со сменой циркуляционных периодов Северного полушария. Для каждой из рассматриваемых экосистем выявлены особенности изменения величин радиационного баланса при смене циркуляционных периодов. Определено, что в первый период – с 1983 по 1997 г. – значения радиационного баланса намного ниже, чем во второй период – с 1998 по 2013 г. Кроме того, второй период характеризуется значительным ростом величины радиационного баланса во всех рассматриваемых экосистемах.

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках НИР ФИЦ ИнБЮМ (регистрационный номер: АААА-А19-119061-190081-9).

Список литературы

- [1] *Боков В.А., Горбунов Р.В.* Климатическая диссимметрия склоновых локальных ландшафтных комплексов Горного Крыма // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24 (63). № 1. С. 3–14.
- [2] Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке – начале XXI века / под ред. В.А. Бокова. Симферополь: ДОЛЯ, 2010. 304 с.
- [3] *Бобра Т.В.* Ландшафтные границы: выявление, анализ, картографирование. Симферополь: ТНУ, 2005. 167 с.
- [4] *Плугатарь Ю.В.* Из лісів Криму. Харків: Новое слово, 2008. 462 с.
- [5] *Поляков А.Ф., Плугатарь Ю.В.* Лесные формации Крыма и их экологическая роль. Харьков: Новое слово, 2009. 405 с.
- [6] *Плугатарь Ю.В.* Леса Крыма. Симферополь: ИТ АРИАЛ, 2015. 368 с.
- [7] Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е.А. Позаченюк. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
- [8] *Будыко М.И.* Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1956. 256 с.
- [9] EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF). URL: https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME_CMSAF_WUI (дата обращения: 03.03.2020).
- [10] *Рахманов В.В.* Гидроклиматическая роль лесов. М.: Лесная промышленность, 1984. 240 с.
- [11] Climate data for North America, South America, and Europe. URL: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html> (accessed: 05.03.2020).
- [12] *Wang T., Hamann A., Spittlehouse D.L., Carroll C.* Locally downscaled and spatially customizable climate data for historical and future periods for North America // PLoS One. 2016. Vol. 11. No. 6. e0156720. doi: 10.1371/journal.pone.0156720.
- [13] *Кононова Н.К.* Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 15.05.2020

Дата принятия к печати: 15.06.2020

Для цитирования:

Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Табуницкий В.А., Дрыгваль А.В. Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 201–212. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212>

Сведения об авторах:

Горбунов Роман Вячеславович, кандидат географических наук, временно исполняющий обязанности директора Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8222-3819>, eLIBRARY SPIN-код: 8403-5179. E-mail: karadag_station@mail.ru

Горбунова Татьяна Юрьевна, научный сотрудник научно-исследовательского центра геоматики Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2155-6502>, eLIBRARY SPIN-код: 3505-6157. E-mail: gorbunovatyu@gmail.com

Табуницкий Владимир Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра геоматики Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3555-6087>, eLIBRARY SPIN-код: 9672-2593. E-mail: tabunshchik@ya.ru

Дрыгваль Анна Валерьевна, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра геоматики Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9156-7018>, eLIBRARY SPIN-код: 4477-0056. E-mail: drygval95@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212

Scientific article

The radiation balance of oak forest ecosystems of the Crimean Peninsula

**Roman V. Gorbunov✉, Tatyana Yu. Gorbunova,
Vladimir A. Tabunshchik, Anna V. Drygval**

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
2 Prospekt Nakhimova, Sevastopol, 299011, Russian Federation*

✉ karadag_station@mail.ru

Abstract. Studying the response of forest ecosystems to climate change is one of the urgent tasks of modern ecology. Regional manifestations of global climate change lead to special reactions of forest ecosystems. The main source of energy for all processes in ecosystems is solar radiation. It starts all the processes of transformation of matter, energy and information in the ecosystem. A change in its income leads to a restructuring of the ecosystem functioning system. For the Crimean Peninsula today the response of forest ecosystems to climate change remains poorly studied. This determines the relevance and purpose of this work. On the base of the landscape-typological map of the Crimean Peninsula, open reanalysis databases, and GIS modeling, the elements of the radiation balance of the oak forest eco-

systems of the Crimean peninsula are estimated under the conditions of modern climate changes. The basic laws of the radiation balance formation of oak forest ecosystems and the features of its interannual dynamics are shown.

Keywords: radiation balance, forest, oak forest, oak forest ecosystem, Crimean Peninsula, Crimea

Acknowledgements and Funding. The work was carried out within the framework of the research of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (registration number: AAAA-A19-119061-190081-9).

References

- [1] Bokov VA, Gorbunov RV. Climatic dissymmetry of the local slope landscapes of the Crimean Mountains. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Geography*. 2011;24(63)(1):3–14. (In Russ.)
- [2] Bokov VA. (ed.). *Transformatsiya landshafino-ekologicheskikh protsessov v Krymu v XX veke – nachale XXI veka [Transformation of Processes in Crimean Landscapes in the XXth – at the Beginning of the XXIst Centuries]*. Simferopol: DOLYA Publ.; 2010. (In Russ.)
- [3] Bobra TV. *Landshaftnye granitsy: vyyavlenie, analiz, kartografirovanie [Landscape boundaries: identification, analysis, mapping]*. Simferopol: TNU Publ.; 2005. (In Russ.)
- [4] Plugatar YuV. *Iz lisiv Krimu [From the forests of the Crimea]*. Kharkiv: Novoe slovo Publ.; 2008. (In Ukrainian.)
- [5] Polyakov AF, Plugatar YuV. *Lesnye formatsii Kryma i ikh ekologicheskaya rol' [Forest formations of Crimea and their ecological role]*. Kharkov: Novoe slovo Publ.; 2009. (In Russ.)
- [6] Plugatar YuV. *Lesa Kryma [Forests of Crimea]*. Simferopol: IT ARIAL Publ.; 2015. (In Russ.)
- [7] Pozachenyuk EA. (ed.). *Sovremennye landshafty Kryma i sopredel'nykh akvatorii [Modern landscapes of the Crimea and adjacent water areas]*. Simferopol: Business-Inform Publ.; 2009. (In Russ.)
- [8] Budyko MI. *Teplovoi balans zemnoi poverkhnosti [Thermal balance of the Earth's surface]*. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo Publ.; 1956. (In Russ.)
- [9] *EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF)*. Available from: https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME_CMSAF_WUI (accessed: 03.03.2020).
- [10] Rakhmanov VV. *Gidroklimaticheskaya rol' lesov [Hydroclimatic role of forests]*. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ.; 1984. (In Russ.)
- [11] *Climate data for North America, South America, and Europe*. Available from: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html> (accessed: 05.03.2020).
- [12] Wang T, Hamann A, Spittlehouse DL, Carroll C. Locally downscaled and spatially customizable climate data for historical and future periods for North America. *PLoS One*. 2016;11(6):e0156720. doi: 10.1371/journal.pone.0156720.
- [13] Kononova NK. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu [Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzeevsky]*. Moscow: Voentekhnizdat Publ; 2009. (In Russ.)

Article history:

Received: 15.05.2020

Revised: 15.06.2020

For citation:

Gorbunov RV, Gorbunova TYu, Tabunshchik VA, Drygval AV. The radiation balance of oak forest ecosystems of the Crimean Peninsula. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):201–212. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212>

Bio notes:

Roman V. Gorbunov, Ph.D. in Geography, Acting Director of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8222-3819>, eLIBRARY SPIN-code: 8403-5179. E-mail: karadag_station@mail.ru

Tatyana Yu. Gorbunova, research associate in the Research Center for Geomatics of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2155-6502>, eLIBRARY SPIN-code: 3505-6157. E-mail: gorbunovatyu@gmail.com

Vladimir A. Tabunshchik, junior researcher in the Research Center for Geomatics of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3555-6087>, eLIBRARY SPIN-code: 9672-2593. E-mail: tabunshchik@ya.ru

Anna V. Drygval, junior researcher in the Research Center for Geomatics of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9156-7018>, eLIBRARY SPIN-code: 4477-0056. E-mail: drygval95@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224

УДК 574.24:615.322

Научная статья

Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье тысячелистника обыкновенного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области

Н.А. Дьякова

*Воронежский государственный университет,
Российская Федерация, 394018, Воронеж, Университетская пл., д. 1*

✉ Ninotchka_V89@mail.ru

Аннотация. Воронежская область – один из важнейших регионов земледелия и растениеводства. Целью исследования анализ загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком лекарственного растительного сырья на примере травы тысячелистника обыкновенного, заготовленной в различных урбо- и агроэкосистемах Воронежской области. Исследование осуществлялось по фармакопейным методикам с использованием атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД. Определяли концентрации свинца, ртути, мышьяка, никеля, кадмия, меди, кобальта, цинка, хрома в 51 образце растительного сырья. Сравнение данных по содержанию изучаемых элементов в почвах региона и концентрации их в траве тысячелистника обыкновенного позволяет утверждать о наличии физиологических барьеров, препятствующих накоплению токсичных веществ в растении, что особенно заметно для свинца, кадмия, ртути, мышьяка, кобальта и хрома. Тысячелистник обыкновенный избирательно аккумулирует медь и цинк, если их содержание в окружающей среде ниже жизненно необходимого уровня. На основании проведенных исследований можно предполагать, что в условиях антропогенного воздействия на среду обитания тысячелистника обыкновенного в результате действия отбора в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям происходит формирование его эдафотипа. Результаты исследований также показали, что имеет место значительное загрязнение травы тысячелистника обыкновенного аэрозольным путем (в частности, свинцом, кадмием, никелем, хромом, кобальтом), что необходимо учитывать при оценке качества данного вида лекарственного растительного сырья и планировании мест его заготовки.

Ключевые слова: тысячелистник обыкновенный, свинец, мышьяк, никель, цинк, медь

Введение

Лекарственные препараты на основе лекарственного растительного сырья, насчитывающие на сегодняшний день более 6,5 тыс. наименований, пользуются высоким спросом в силу относительной безвредности и хорошего терапев-

тического эффекта. Большая доля заготовок растительного сырья расположена в европейской части России, для которой характерны значительная плотность населения, высокая активность хозяйственной деятельности, развитие транспортных магистралей, в связи с чем увеличивается угроза сбора растительного сырья в экологически неблагоприятных районах и возрастает актуальность выявления влияния антропогенного загрязнения на химический состав растений [1].

Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) – многолетнее травянистое растение, оказывающее выраженное кровоостанавливающее, противовоспалительное и антисептическое действие. Является синантропным видом, сырье которого заготавливается из дикорастущих особей. Тысячелистник обыкновенный, благодаря хорошо развитой разветвленной корневой системе, хорошо накапливает фосфор, медь, цинк, поэтому часто используется в качестве сырья для высокопитательного удобрения в садоводстве. По этой же причине данное растение используют для очистки почв от тяжелых металлов [2–4].

Целью исследования являлось изучение загрязнения мышьяком и тяжелыми металлами лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере травы тысячелистника обыкновенного, собранной в различных урбо- и агроэкосистемах.

Материалы и методы

Выбор исследуемых районов обусловлен характером специфического антропогенного воздействия на них (рисунок и таблица).

Анализ образцов травы тысячелистника обыкновенного осуществлялся по фармакопейным методикам на базе атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД [2]. Определяли содержание наиболее токсичных элементов: кадмия, ртути, свинца, мышьяка, никеля, кобальта, цинка, хрома и меди.

Результаты и обсуждение

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах травы тысячелистника обыкновенного, собранных на изучаемых территориях (рисунок), представлено в таблице.

Содержание свинца во всех отобранных образцах травы тысячелистника обыкновенного не превышала установленный фармакопейной статьей числовой показатель в 6 мг/кг [2]. Концентрация данного элемента в сырье, собранном на контрольных территориях, варьировала от 0,22 до 0,32 мг/кг, при этом в сырье из остальных районов, подверженных антропогенному воздействию, содержание металла колебалось от 0,25 до 2,37 мг/кг. Концентрация элемента в почвах районов, в которых производился сбор образцов, отмечена на уровне от 1,71 до 34,57 мг/кг [5]. Связать достаточно низкое накопление свинца в наземной части тысячелистника обыкновенного можно с тем, что соединения его малорастворимы, соответственно, его биодоступность для растения ограничена. Кроме того, возможно предположить наличие физиологического барьера в растении, препятствующего накоплению данного фитотоксиканта, вызывающего в большом количестве выраженное ингибирование процессов роста и развития растения [6–8]. Для агробиоценозов отмечены менее значительные концентрации свинца в траве тысячелистника обыкновенного (0,25–0,39 мг/кг), для урбобиоценозов – более значительные.

При этом наибольшие концентрации металла (более 1,0 мг/кг) отмечены для образцов, собранных вблизи химических предприятий (ООО «Сибур», ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), в городах с развитой инфраструктурой (Калач, Борисоглебск, Воронеж), вблизи аэропорта, вдоль и на удалении 100–200 м от автотрасс, вдоль железной дороги. В связи с этим можно предположить значительное аэрозольное загрязнение свинцом травы тысячелистника обыкновенного, собранного в урбобиоценозах (вероятно, от выхлопных газов транспорта, выбросов промышленных предприятий) [9].

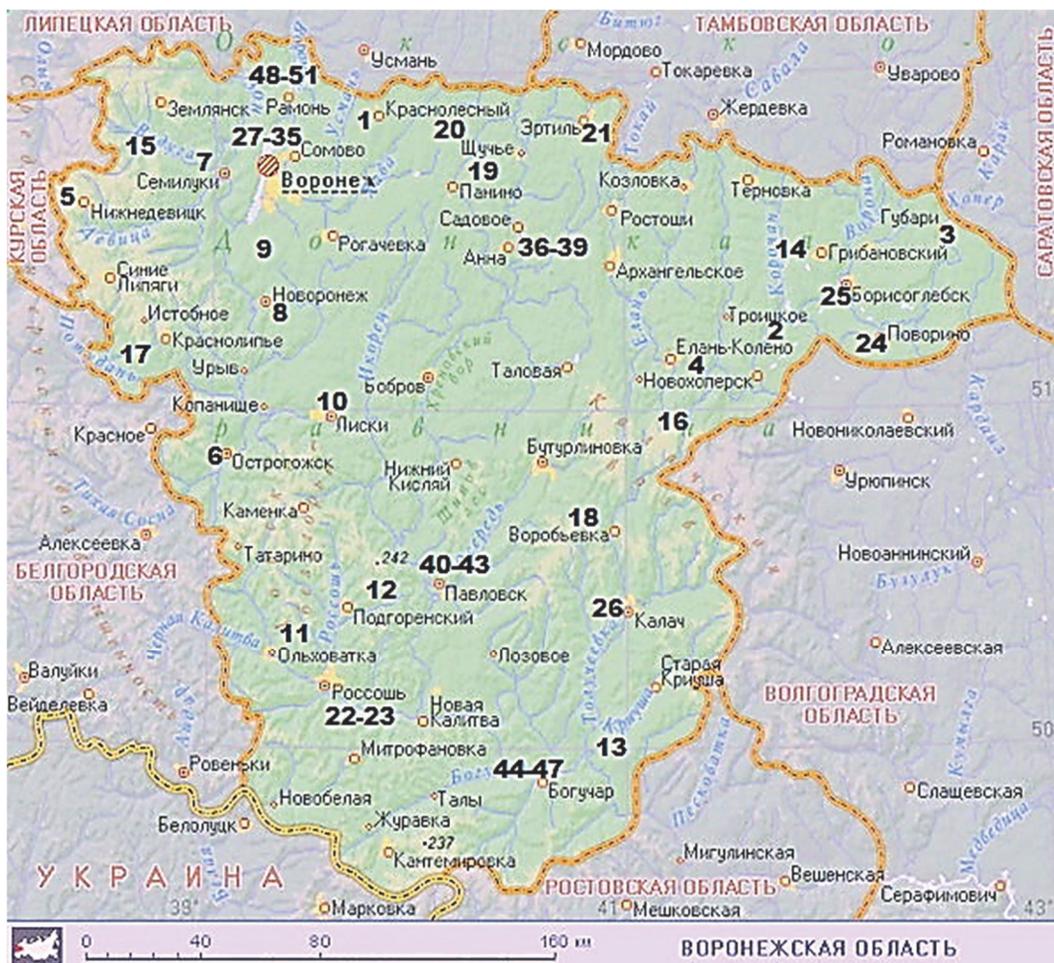


Рис. Карта отбора образцов:

- 1–3 – заповедные территории (контроль для сравнения); 4 – зона значительного месторождения никелевых руд;
- 5–7 – районы, находящиеся в зоне радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС;
- 8 – атомная электростанция (АЭС) в Нововоронеже; 9 – высоковольтные линии электропередач (ВЛЭ);
- 10–22 – районы активного ведения сельского хозяйства; 23, 24, 28 – химические промышленные предприятия;
- 25, 26 – малые города (Борисоглебск и Калач соответственно); 27 – теплоэлектроцентраль (ТЭЦ);
- 29 – Воронежское водохранилище; 30 – международный аэропорт имени Петра I; 31 – улица Димитрова (Воронеж);
- 32 – трасса М4 «Дон» (лесная зона); 33 – трасса А144 «Курск – Саратов» (лесостепная зона);
- 34 – трасса М4 «Дон» (степная зона); 35 – проселочная автомобильная дорога малой загруженности;
- 36 – железная дорога

Figure. Sampling card:

- 1–3 – protected areas (control for comparison); 4 – zone of a significant deposit of nickel ores;
- 5–7 – areas in the zone of radioactive contamination after the Chernobyl accident;
- 8 – nuclear power plant (NPP) in Novovoronezh; 9 – high-voltage power transmission lines (VLE);
- 10–22 – areas of active agriculture; 23, 24, 28 – chemical industrial enterprises;
- 25, 26 – small towns (Borisoglebsk and Kalach respectively); 27 – combined heat and power plant (CHP);
- 29 – Voronezh Reservoir; 30 – Voronezh Peter the Great Airport; 31 – Dimitrova Street (Voronezh);
- 32 – highway M4 “Don” (forest zone); 33 – highway A144 “Kursk – Saratov” (forest-steppe zone);
- 34 – M4 highway “Don” (steppe zone); 35 – country road of low traffic; 36 – railway

Таблица

Концентрация тяжелых металлов и мышьяка в образцах травы тысячелетника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.)

[Table. Heavy metal and arsenic content of plain thousand-year-old grass (*Achillea millefolium* L.)]

№ п/п [No.]	Район сбора [Area of collecting]	Валовое содержание элемента, мг/кг [Gross element content, mg/kg]								
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
1	Воронежский биосферный заповедник [Voronezh biosphere reserve]	0,26	0,003	0,02	0,24	0,78	0,30	0,21	6,69	19,63
2	Хоперский заповедник [Khopyor reserve]	0,32	0,003	0,03	0,18	1,08	0,32	0,18	7,62	21,86
3	Борисоглебский район [Borisoglebsk district]	0,22	0,002	0,01	0,19	0,56	0,19	0,16	8,26	26,17
4	с. Елань-Колено [Village of Elan-Koleno]	0,27	0,004	0,02	0,20	1,45	0,37	0,19	9,47	25,63
5	с. Нижнедевицк [Village of Nizhnedevitsk]	0,42	0,002	0,04	0,17	0,67	0,42	0,49	10,84	19,09
6	г. Острогожск [City of Ostrogozhsk]	0,58	0,003	0,03	0,26	2,85	0,50	0,51	12,47	38,53
7	г. Семилуки [City of Semiluki]	0,61	0,004	0,03	0,28	2,61	0,62	0,58	16,91	37,95
8	г. Нововоронеж [City of Novovoronezh]	0,28	0,002	0,02	0,20	0,95	0,37	0,23	7,48	27,59
9	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ) [High-voltage power transmission lines (Novovoronezhsky city district)]	0,36	0,003	0,04	0,30	1,53	0,69	0,50	8,52	25,75
10	Лискинский р-н [Liskinsky district]	0,39	0,004	0,02	0,21	0,77	0,40	0,38	14,83	22,65
11	Ольховатский р-н [Olkhovatsky district]	0,28	0,003	0,02	0,25	2,06	0,71	0,18	11,17	23,89
12	Подгоренский р-н [Podgorensky district]	0,36	0,004	0,03	0,24	3,57	0,18	0,27	12,63	24,01
13	Петропавловский р-н [Petropavlovsky district]	0,28	0,003	0,01	0,21	0,59	0,60	0,47	14,15	26,30
14	Грибановский р-н [Gribanovsky district]	0,33	0,003	0,02	0,29	1,60	0,23	0,16	11,92	18,83
15	Хохольский р-н [Hokholsky district]	0,30	0,003	0,03	0,23	2,49	0,42	0,52	13,07	25,62
16	Новохоперский р-н [Novokhopyorsky district]	0,25	0,004	0,02	0,25	1,78	0,16	0,20	9,38	19,86
17	Репьевский р-н [Repyevsky district]	0,32	0,003	0,02	0,29	1,56	0,37	0,62	17,52	26,85
18	Воробьевский р-н [Vorobyevsky district]	0,26	0,003	0,02	0,17	2,10	0,25	0,35	14,28	24,84
19	Панинский р-н [Paninsky district]	0,34	0,003	0,04	0,22	1,89	0,59	0,52	13,53	18,37
20	Верхнехавский р-н [Verkhnekhavsky district]	0,27	0,004	0,05	0,23	0,94	0,61	0,40	18,19	27,47
21	г. Эртиль [City of Erti]l]	0,48	0,004	0,04	0,19	1,30	0,58	0,26	16,31	19,53
22	Россошанский район [Rossoshansky district]	0,42	0,003	0,04	0,25	2,12	0,53	0,61	15,85	27,52
23	Вблизи ОАО «Минудобрения» (г. Россошь) [Near OJSC “Minudobreniya” (city of Rossoch)]	1,27	0,003	0,09	0,61	3,56	2,57	1,27	25,95	48,98
24	Вблизи ООО «Бормаш» (г. Поворино) [Near LLC “Bormash” (city of Povorino)]	2,00	0,004	0,11	0,78	4,85	1,89	1,02	34,71	42,50
25	г. Борисоглебск [City of Borisoglebsk]	1,41	0,004	0,07	0,31	1,60	0,87	0,86	17,85	36,96
26	г. Калач [City of Kalach]	1,08	0,002	0,05	0,30	2,84	1,16	0,92	28,48	37,70
27	Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж) [Near “VOGRES” Thermal Power Plant (city of Voronezh)]	0,83	0,004	0,04	0,77	2,13	2,39	1,03	19,10	46,15

Продолжение таблицы / Table, continuation

№ п/п [No.]	Район сбора [Area of collecting]	Валовое содержание элемента, мг/кг [Gross element content, mg/kg]									
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	
28	Вблизи ООО «Сибур» (г. Воронеж) [Near LLC "Sibur" (city of Voronezh)]	1,13	0,004	0,05	0,45	1,04	1,90	0,83	20,80	49,05	
29	Вдоль водохранилища (г. Воронеж) [Along the reservoir (city of Voronezh)]	0,28	0,002	0,03	0,38	2,56	0,52	0,32	9,61	27,37	
30	Вблизи аэропорта [Near the airport]	1,72	0,005	0,04	0,39	2,40	0,47	0,29	17,31	25,27	
31	Улица Ленинградская (Воронеж) [Leningradskaya St (city of Voronezh)]	1,80	0,003	0,08	0,43	4,20	2,31	1,62	27,38	55,85	
32	Вдоль трассы М4 (Рамонский р-н) [Along the M4 route (Ramon district)]	2,08	0,005	0,06	0,47	4,65	1,86	0,75	31,49	50,38	
33	100 м от трассы М4 (Рамонский район) [100 m from M4 Route (Ramon district)]	1,33	0,005	0,04	0,43	3,29	1,67	0,53	19,64	39,65	
34	200 м от трассы М4 (Рамонский район) [200 m from M4 Route (Ramon district)]	0,69	0,004	0,02	0,30	2,76	0,93	0,42	17,53	27,51	
35	300 м от трассы М4 (Рамонский район) [300 m from M4 Route (Ramon district)]	0,30	0,004	0,02	0,30	2,12	0,91	0,28	14,97	26,37	
36	Вдоль трассы А144 (Аннинский р-н) [Along the A144 route (Anninsky district)]	2,37	0,005	0,07	0,40	4,53	1,63	0,65	26,91	48,04	
37	100 м от трассы А144 (Аннинский р-н) [100 m from the route A144 (Anninsky district)]	1,85	0,005	0,04	0,33	4,10	1,16	0,56	19,20	45,03	
38	200 м от трассы А144 (Аннинский р-н) [200 m from the route A144 (Anninsky district)]	1,26	0,004	0,04	0,27	3,27	0,85	0,41	17,33	35,61	
39	300 м от трассы А144 (Аннинский р-н) [300 m from the route A144 (Anninsky district)]	0,49	0,003	0,02	0,20	2,21	0,62	0,30	15,42	28,44	
40	Вдоль трассы М4 (Павловский р-н) [Along the M4 route (Pavlovsky district)]	1,86	0,005	0,08	0,27	4,93	0,87	0,79	28,92	46,03	
41	100 м от трассы М4 (Павловский район) [100 m from the M4 route (Pavlovsky district)]	1,50	0,005	0,06	0,25	4,36	0,76	0,72	21,57	43,74	
42	200 м от трассы М4 (Павловский район) [200 m from the M4 route (Pavlovsky district)]	1,18	0,004	0,02	0,17	3,52	0,59	0,53	15,63	37,63	
43	300 м от трассы М4 (Павловский район) [300 m from the M4 route (Pavlovsky district)]	0,70	0,004	0,01	0,17	2,90	0,48	0,37	12,74	29,81	
44	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский р-н) [Along the non-high-speed road (Bogucharsky district)]	0,76	0,003	0,03	0,30	1,54	0,54	0,45	12,75	29,30	
45	100 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) [100 m from non-high-speed road (Bogucharsky district)]	0,42	0,004	0,02	0,30	1,65	0,35	0,38	14,25	23,28	
46	200 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) [200 m from non-high-speed road (Bogucharsky district)]	0,31	0,004	0,02	0,27	1,12	0,41	0,40	13,72	17,10	
47	300 м нескоростной дороги (Богучарский р-н) [300 m from non-high-speed road (Bogucharsky district)]	0,37	0,004	0,02	0,20	0,78	0,42	0,31	10,10	22,39	

Окончание таблицы / Table, ending

№ п/п [No.]	Район сбора [Area of collecting]	Валовое содержание элемента, мг/кг [Gross element content, mg/kg]									
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	
48	Вдоль железной дороги [Along the railroad]	1,71	0,004	0,10	0,48	4,34	1,04	0,69	30,51	49,90	
49	100 м от железной дороги [100 m from the railroad]	0,88	0,004	0,08	0,41	3,62	0,85	0,34	23,04	41,92	
50	200 м от железной дороги [200 m from the railroad]	0,45	0,004	0,05	0,35	2,29	0,53	0,38	16,53	28,64	
51	300 м от железной дороги [300 m from the railroad]	0,35	0,004	0,02	0,35	1,96	0,61	0,29	12,08	15,82	
	Среднее содержание элемента в сырье [Average element content of raw material]	0,79	0,004	0,04	0,31	2,36	0,80	0,50	16,60	31,46	
	Предельно допустимая концентрация [Threshold limit value]	6,0	0,1	1,0	0,5	–	–	–	–	–	

Содержание ртути в образцах травы тысячелистника обыкновенного варьировало от 0,002 до 0,005 мг/кг. Предельно допустимая концентрации металла в лекарственном растительном сырье 0,1 мг/кг, что в десятки раз больше определенных значений [2]. Содержание ртути в почвах изучаемых территорий характеризуется числовыми значениями от 0,01 до 0,24 мг/кг [5]. В почве ртуть образует малорастворимые соединения, которые достаточно прочно удерживаются почвенными коллоидами. Также низкое содержание фитотоксичной ртути можно связать с наличием в растениях системы инактивации поллютантов [6–8].

Концентрация кадмия в траве тысячелистника обыкновенного варьировала от 0,01 до 0,11 мг/кг при среднем значении для всех образцов региона 0,04 мг/кг, что в 25 раз меньше установленной фармакопейной статьей предельно допустимой концентрации кадмия в лекарственном растительном сырье (1,0 мг/кг [2]) и значительно меньше содержания металла в верхних слоях почв изучаемых территорий (от 0,02 до 0,71 мг/кг) [5]. Объяснить низкий уровень накопления кадмия, являющегося главным блокатором основных ферментных и антиоксидантных систем в растении, можно тем, что, вероятно, у тысячелистника обыкновенного в процессе эволюции выработался механизм физиологической блокировки всасывания соединений данного металла [6; 10–12]. При этом более высокие концентрации вновь отмечены в урбоценозах – вблизи крупных химических предприятий (ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), вдоль и вблизи автотрасс, вдоль железной дороги, что можно связать с аэрозольным загрязнением надземной части растения [9].

Концентрацию мышьяка в траве тысячелистника обыкновенного можно оценить как высокую. Так, в трех образцах (собранных вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС», ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш») превышена предельно допустимая концентрация элемента, установленная фармакопейной статьей в 0,5 мг/кг [2]. Средняя же концентрация элемента в траве тысячелистника обыкновенного составила 0,31 мг/кг и варьировала от 0,17 до 0,78 мг/кг. Концентрация мышьяка в верхних слоях почв гораздо значительнее – от 0,55 до 3,81 мг/кг [5]. Известно, что соединения мышьяка обладают низкой растворимостью и по-

движностью в почве, что связано с их сорбцией на поверхности органическими и минеральными коллоидами. Также, с увеличением содержания его соединений в почве возможно развитие токсического действия на растительные организмы: увядание листьев, замедление темпов роста. Можно предположить преимущественное загрязнение «забракованных» образцов травы тысячелистника обыкновенного аэрозольным путем [11; 13; 14].

Средний уровень содержания никеля в траве тысячелистника обыкновенного оценивается в 2,36 мг/кг при колебании его от 0,56 до 4,85 мг/кг. Предельно допустимая концентрация никеля, а также хрома, кобальта, меди и цинка, определяемых нами, в лекарственном растительном сырье в настоящее время не нормируется [2]. Концентрация никеля в почвах изучаемых территорий принимала значения от 2,23 до 98,25 мг/кг [5]. Данный элемент незначительно накапливается в надземной части тысячелистника обыкновенного, хотя соли никеля находятся преимущественно в растворенном состоянии в почвенном растворе. Известно, что в значительных концентрациях никель оказывает токсическое действие на растительный организм, способствует угнетению процессов фотосинтеза и транспирации [4; 6; 8; 13; 15]. Вероятно, у тысячелистника обыкновенного выработался физиологический барьер к накоплению никеля в высоких концентрациях. Для никеля также отмечено более высокое содержание в образцах, собранных в урбобиоценозах с активной хозяйственной деятельностью человека – вблизи крупных химических предприятий, на улице Воронежа, вдоль и вблизи автотрасс, вдоль железной дороги, что подтверждает предположение о значительной доле аэрозольного пути загрязнения лекарственного растительного сырья [9].

Содержание хрома в изучаемых образцах травы тысячелистника обыкновенного варьировало от 0,16 до 2,39 мг/кг при среднем значении 0,80 мг/кг. Концентрации хрома в верхних слоях почв рассматриваемых территорий принимала значения от 2,53 до 45,16 мг/кг [5]. Фитотоксичность хрома проявляется в повреждении корней растения, а также увядании его надземной части, хлорозе молодых листьев [4; 6; 15]. Очевидно, что накопление данного металла блокируется растением на биохимическом уровне, что является его эволюционно выработанным приспособлением к жизни в условиях загрязнения среды обитания. При анализе полученных результатов также отмечены значительно более низкие концентрации хрома в образцах травы тысячелистника обыкновенного, собранных на контрольных территориях и в агробиоценозах. Здесь содержание металла не превышало 0,71 мг/кг. В урбобиоценозах концентрация хрома в надземной части тысячелистника обыкновенного значительно выше.

Средняя концентрация кобальта и его уровень накопления в траве тысячелистника обыкновенного еще более низкие, чем для хрома. Так, содержание кобальта в изучаемых образцах варьировало от 0,16 до 1,62 мг/кг при среднем уровне накопления в сырье Воронежской области 0,50 мг/кг. Концентрация его в верхних слоях почв характеризуется значениями от 1,84 до 21,78 мг/кг [5], что свидетельствует о низком уровне накопления кобальта травой тысячелистника обыкновенного. В образцах контрольных территорий и агробиоценозов также отмечены более низкие уровни концентраций данного металла, чем для образцов урбанизированных территорий, что может доказывать дополнительное аэрозольное загрязнение сырья [4; 6; 8].

Проведенные анализы показали, что трава тысячелистника обыкновенного в значительной степени накапливает медь и цинк. Так, концентрация меди варьировала от 6,69 до 34,71 мг/кг при среднем содержании в регионе 16,60 мг/кг. Содержание меди в верхних слоях почв изучаемых территорий изменялось от 3,30 до 65,38 мг/кг при среднем 23,25 мг/кг [5]. При этом для ряда образцов отмечена более высокая концентрация меди в сырье, чем в почве, на которой оно произрастало (например, для всех образцов, собранных в заповедных зонах, в Репьевском, Ольховатском, Панинском районах и др.). Это указывает на значительную концентрирующую способность наземной части тысячелистника обыкновенного в отношении меди, которая участвует в процессе фотосинтеза, активизирует углеводный и азотный обмен, повышает сопротивляемость растительного организма к инфекционным заболеваниям, увеличивает засухоустойчивость [3; 6; 7; 12]. Однако на высоком содержании меди в почвах некоторых урбанизированных территорий (вблизи крупных химических предприятий, на улице Воронежа, вдоль и вблизи крупных автомобильных дорог, вдоль железной дороги) содержание элемента в растении гораздо ниже, что говорит о накоплении данного металла в тысячелистнике обыкновенном до какого-то физиологически важного уровня, а далее его концентрирование растением блокируется.

Концентрация цинка в изучаемых образцах травы тысячелистника обыкновенного принимала значения от 18,83 до 55,85 мг/кг и в среднем составила 31,36 мг/кг. Сопоставляя полученные результаты с данными по почвам (содержание цинка варьировало от 9,58 до 154,45 мг/кг при среднем значении по региону 52,69 мг/кг [5]), можно отметить значительное накопление элемента в сырье. Для образцов травы тысячелистника обыкновенного, собранного на заповедных территориях, в Нижнедевицком, Лискинском, Россошанском районах отмечено содержание цинка в растительном сырье выше, чем в почве, на которой оно выросло. Это связано со значительной физиологической потребностью растения в данном элементе. Так, цинк активирует более 300 ферментов, участвует в образовании хлорофилла, является составной частью более 40 ферментов, активизирует метаболизм углеводов, протеинов, фосфатов, повышает устойчивость к патогенам, жаро- и засухоустойчивость [6; 8; 12]. Но при значительном содержании цинка в верхних слоях почв урбоценозов (на улицах крупных городов, вблизи крупных авто- и железных дорог, промышленных предприятий) в растении металл накапливается в меньшей степени (на уровне 40–55 мг/кг), что, вероятно, связано с токсическим действием его избытка в растительном организме.

Заключение

В ходе исследования был изучен 51 образец травы тысячелистника обыкновенного, собранной в различных по характеру антропогенного воздействия районах Воронежской области, на предмет содержания свинца, ртути, кадмия, мышьяка, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома. Сравнивая данные по содержанию указанных элементов в почвах региона и концентрации их в траве тысячелистника обыкновенного, представляется возможным судить о наличии физиологических барьеров, препятствующих накоплению избытка токсичных элементов в растении, что особенно характерно для свинца, рту-

ти, мышьяка, кадмия, кобальта и хрома. При этом тысячелистник обыкновенный способен концентрировать медь и цинк в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня; при высоком содержании в почвах данных металлов растение также физиологически блокирует поступление элементов в его надземную часть. На основании проведенных исследований можно предполагать, что в условиях антропогенного воздействия на среду обитания тысячелистника обыкновенного в результате действия отбора в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям происходит формирование его эдафотипа. Результаты исследований также выявили значительное загрязнение травы тысячелистника обыкновенного аэрозольным путем (в частности, свинцом, кадмием, никелем, хромом, кобальтом), что необходимо учитывать при оценке качества данного вида лекарственного растительного сырья и планировании мест его заготовки.

Список литературы

- [1] Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Сравнение особенностей накопления основных токсических элементов цветками липы сердцевидной и пижмы обыкновенной // Вестник ВГУ. Серия: Химия, биология, фармация. 2017. № 1. С. 148–154.
- [2] Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 2. М.: ФЭМБ, 2018.
- [3] Попп Я.И., Бокова Т.И. Содержание меди в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 3. С. 100–107.
- [4] Зайцева М.В., Кравченко А.Л., Стекольников Ю.А., Сотников В.А. Тяжелые металлы в системе почва – растение в условиях загрязнения // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2013. № 3. С. 190–192.
- [5] Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИрГСХА. 2019. № 95. С. 19–30.
- [6] Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка и оценка влияния поллютантов на содержание флавоноидов у *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae) // Вестник Камчатского технического государственного университета. 2019. № 48. С. 71–77.
- [7] Семенова И.Н., Сингизова Г.Ш., Зулкарнаев А.Б., Ильбулова Г.Ш. Влияние меди и свинца на рост и развитие растений на примере *Anethum graveolens* L. // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (дата обращения: 10.11.2019).
- [8] Немецкина О.Н., Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Шайхутдинова А.А. Некоторые аспекты адаптации *Polygonum aviculare* L. к загрязнению почвы тяжелыми металлами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1. С. 230–234.
- [9] Rai A., Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants // Journal of Food, Agriculture & Environment. 2006. Vol. 4. Pp. 253–259.
- [10] Шигабаева Г.Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. № 1. С. 92–102.

- [11] *Понн Я.И., Бокова Т.И.* Содержание кадмия в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник КрасГАУ. 2017. № 3. С. 105–113.
- [12] *Понн Я.И., Бокова Т.И.* Содержание цинка, меди и кадмия в различных видах лекарственных растений, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017. № 1. С. 84–92.
- [13] *Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T.* Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun // Poland Polish Journal of Environmental Studies. 2000. Vol. 9. No. 6. Pp. 511–515.
- [14] *Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith C.L.* Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city // Atmospheric Environment. 2012. Vol. 61. Pp. 283–293.
- [15] *Gupta G.P., Kumar B., Singh S., Kulshrestha U.C.* Deposition and Impact of Urban Atmospheric Dust on Two Medicinal Plants during Different Seasons in NCR Delhi // Aerosol and Air Quality Research. 2016. No. 16. Pp. 2920–2932.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 11.04.2020

Дата принятия к печати: 31.05.2020

Для цитирования:

Дьякова Н.А. Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье тысячелистника обыкновенного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 213–224. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224>

Сведения об авторе:

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии фармацевтического факультета Воронежского государственного университета. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0766-3888>, eLIBRARY SPIN-код: 3477-0510. E-mail: Ninotchka_V89@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224

Scientific article

Peculiarities of accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of plain thousand, collected in urban and agribiocenoses of the Voronezh region

Nina A. Dyakova

*Voronezh State University,
1 Universitetskaya Ploshchad', Voronezh, 394018, Russian Federation*

✉ Ninotchka_V89@mail.ru

Abstract. The Voronezh region is traditionally the most important area of crop production and farming. The purpose of the study was to study contamination by heavy metals and arsenic of medicinal vegetable raw materials of the Voronezh region on the example of plain thousand-year-old grass collected in urban and agro-ecological systems with different anthro-

pogenic effects. The study was carried out by atomic absorption spectrometry on the basis of atomic absorption spectrometer MGA-915MD pharmacopoeia methods, accumulation of heavy metals (lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chromium) and arsenic was studied in 51 samples of large planter leaves. Comparing the data on heavy metal content in the upper soil layers of the region and the content of these elements in the grass of the common thousand, it can be argued that there are significant physiological barriers to the accumulation of ecotoxicants in the plant, which is particularly noticeable for elements such as lead, mercury, arsenic, cadmium, cobalt and chromium. The thousand-year-old is able to selectively concentrate some heavy metals entering the active centers of enzyme systems (such as copper and zinc, for example) if their environmental content is below some vital level; With significant content of these elements in soils, the plant also physiologically blocked their entry into the above-ground part of the plant. The results of studies have shown that plain thousand grass is able to accumulate toxic elements from soils in a significant amount, which is important in planning the places of production of medicinal vegetable raw materials and assessing its quality.

Keywords: ordinary yarrow, lead, arsenic, nickel, zinc, copper

References

- [1] Dyakova NA, Slivkin AI, Gaponov SP. Comparison of features of accumulation of the basic toxic elements flowers of a linden heart-shaped and tansies ordinary. *VSU Bulletin. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*. 2017;(1):148–154. (In Russ.)
- [2] *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii [State pharmacopoeia of the Russian Federation]* (vol. 2). 14 ed. Moscow: FEMB Publ.; 2018. (In Russ.)
- [3] Popp YI, Bokova TI. Copper content in medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of the Oman State Agrarian University*. 2016;(3):100–107. (In Russ.)
- [4] Zaytseva MV, Kravchenko AL, Stekolnikov YA, Sotnikov VA. Heavy metals in a system the soil plant in the conditions of pollution. *Scientists Notes of Oryol State University. Series: Natural, Technical and Medical Sciences*. 2013;(3):190–192. (In Russ.)
- [5] Dyakova NA. Assessment of contamination by heavy metals of upper soil layers of urban and agro-ecosystems of the Central Black Earth. *Journal of the Irkutsk State Agricultural Academy*. 2019;(95):19–30. (In Russ.)
- [6] Dyakova NA, Slivkin AI, Gaponov SP. Study of accumulation of heavy metals and arsenic and assessment of the influence of pollutants on the content of flavonoids in *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae). *Journal of Kamchatka Technical State University*. 2019;(48):71–77. (In Russ.) doi: 10.17217/2079-0333-2019-48-71-77.
- [7] Semenova IN, Singizova GS, Zulkaranaev AB, Ilbulova GS. Effects of copper and lead on plant growth and development as exemplified by *Anethum graveolens* L. *Modern problems of science and education*. 2015;(3). (In Russ.) Available from: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (accessed: 10.02.2020).
- [8] Nemereshina ON, Gusev NF, Petrova GV, Shajhutdinova AA. Some aspects of adaptation of *Polygonum aviculare* L. to pollution of the soil heavy metals. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2012;1(33):230–234. (In Russ.)
- [9] Rai A, Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2006;4:253–259.
- [10] Shigabayeva GN. Heavy metals in soils of some districts of Tyumen. *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and Environmental Management*. 2015;1(2):92–102. (In Russ.)
- [11] Popp YI, Bokova TI. Cadmium content in medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2017;(3): 105–113. (In Russ.)

- [12] Popp YI, Bokova TI. Content of zinc, copper and cadmium in various types of medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of Novosibirsk State Agrarian University*. 2017;(1):84–92. (In Russ.)
- [13] Buszewski B, Jastrzebska A, Kowalkowski T. Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun. *Poland Polish Journal of Environmental Studies*. 2000;9(6):511–515.
- [14] Speak AF, Rothwell JJ, Lindley SJ, Smith CL. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*. 2012;61:283–293.
- [15] Gupta GP, Kumar B, Singh S, Kulshrestha UC. Deposition and Impact of Urban Atmospheric Dust on Two Medicinal Plants during Different Seasons in NCR Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*. 2016;(16):2920–2932.

Article history:

Received: 11.04.2020

Revised: 31.05.2020

For citation:

Dyakova NA. Peculiarities of accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of plain thousand, collected in urban and agrobiocenoses of the Voronezh region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):213–224. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224>

Bio note:

Nina A. Dyakova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Chair of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology of the Faculty of Pharmacy of the Voronezh State University. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0766-3888>, eLIBRARY SPIN-code: 3477-0510. E-mail: Ninotchka_V89@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-225-236

УДК 504.53:581.5(045)

Научная статья

Мониторинг эрозионных процессов и состояния растительного покрова рекультивированного полигона твердых коммунальных отходов

С.А. Красноперова✉, Е.А. Борисова

Удмуртский государственный университет,
Российская Федерация, 426000, Ижевск, ул. Университетская, д. 1

✉ krasnoperova_sve@mail.ru

Аннотация. Депонирование твердых коммунальных отходов на свалках, не предусматривающих комплекс мер по защите окружающей среды от негативного воздействия, приводит к существенному загрязнению компонентов экосистем: почвенного покрова, поверхностных и подземных вод, растительного и животного мира. Одним из наиболее опасных компонентов при захоронении отходов является фильтрат, в состав которого входят нитрат- и нитрит-ионы, а также многие тяжелые металлы. Изучение химического анализа фильтрата множественных свалок и полигонов показывает, что в местах депонирования отходов присутствуют биологически опасные органические вещества, различные соединения форм азота и серы, ионы тяжелых металлов, патогенная среда, превышающие предельно допустимые концентрации. Отсюда следует, что реализация эффективных природоохранных мероприятий, необходимых в целях контроля состояния компонентов живой природы в местах захоронения твердых коммунальных отходов, снижающих неблагоприятное воздействие на окружающую среду, является наиболее актуальной проблемой. В ходе исследования был проведен мониторинг эрозионных процессов и состояния растительного покрова рекультивированного полигона ТКО по Сарапульскому тракту. Выявлены его уровни экологической опасности.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, эрозионные процессы, рекультивация, мониторинг, воздействие на окружающую среду

Введение

Проблема обезвреживания твердых отходов является наиболее острой экологической проблемой Удмуртии. По данным Минприроды УР, ежегодно по республике образуется около 445 тыс. т твердых коммунальных отходов в год. На сегодняшний день зафиксировано уже более 480 несанкционированных свалок, на которые вывозится строительный мусор и твердые коммунальные отходы [1; 2]. Одной из основных причин возникновения несанкционированных свалок в Удмуртии является отсутствие организации системного вывоза мусора и слабый контроль за движением отходов.

© Красноперова С.А., Борисова Е.А., 2020



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

Таким образом, цель данного исследования – проведение мониторинга эрозионных процессов и состояния растительного покрова полигона ТБО по Сарапульскому тракту, а также выявление уровня его экологической опасности.

Материал и методы исследования

Экологический контроль (мониторинг) эрозионных процессов проводился на теле рекультивированного полигона ТКО по Сарапульскому тракту, согласно которому осуществлялось выявление вновь образовавшихся эрозионных форм [3; 4], представленных на рисунке (условные обозначения выполнены в соответствии с ГОСТ 21.302-2013 [5]).

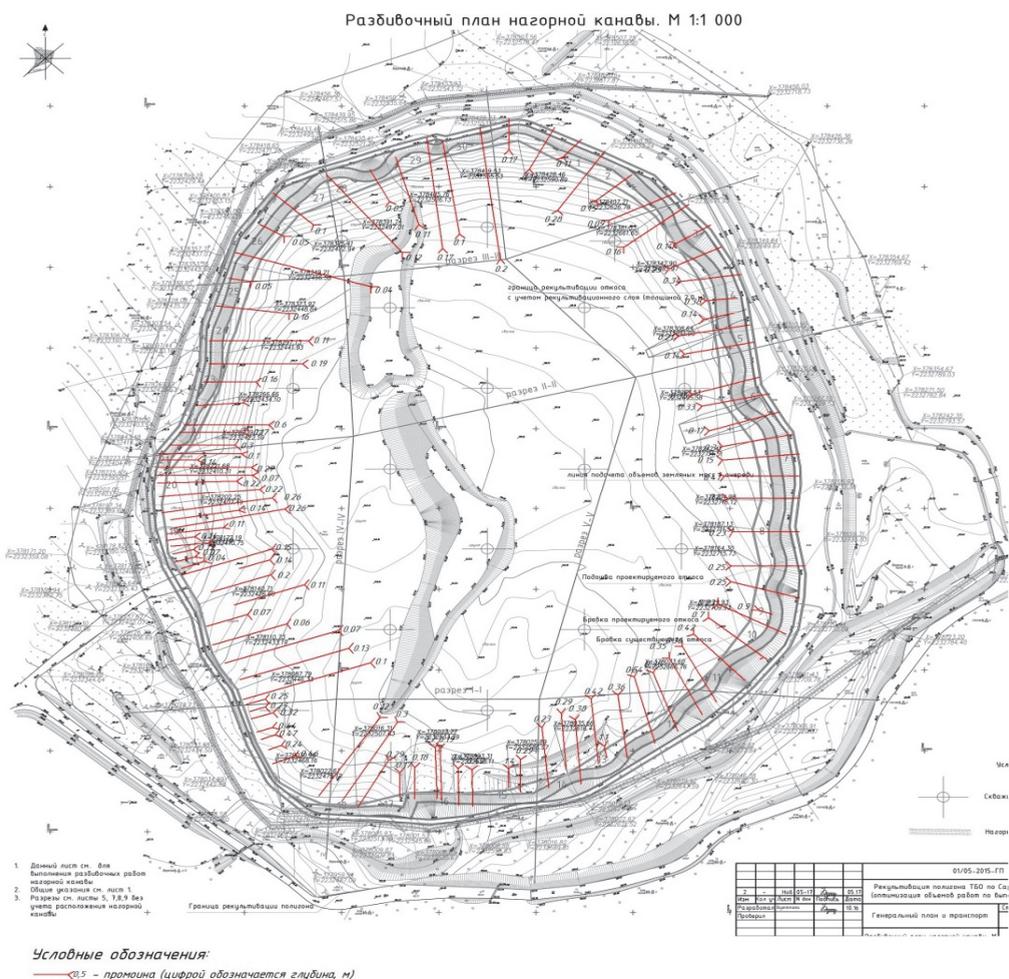


Рис. Схема образовавшихся эрозионных форм на рекультивированном полигоне ТКО по Сарапульскому тракту (Удмуртия)
[Figure. Diagram of the formed erosion forms at the reclaimed municipal waste landfill along the Sarapulsky tract (Udmurtia)]

При оценке состояния растительности использовался маршрутный метод и подробное описание учетных площадок (не менее 10 штук площадью 33×33 см, располагающихся на маршруте) [6]. Также здесь учитывались рудеральные виды и виды, не входящие в состав травосмеси, используемой при биологическом этапе рекультивации.

Далее на учетной площадке проводилось описание растительного покрова (проективное покрытие растений, площадь проплешин, состояние травянистого покрова) [7]. Определение проективного покрытия проводилось на пробных площадках размером 100×100 м, на каждой пробной площадке было заложено три учетные площадки 100×100 см [8].

Также проведен химический анализ почвенных образцов на территории полигона. В точках отбора указанных образцов произведен забор растительных проб методом укусов фитомассы с учетных площадок размером 50×50 см [9] для определения в них тяжелых металлов. Перечень веществ аналогичен перечню веществ, определяемых в почве (медь, никель, мышьяк, кобальт, ртуть). Химический анализ проведен аккредитованной лабораторией АО Агрохимцентр «Удмуртский». Определение массовой доли кобальта, никеля и меди проводилось согласно ГОСТ 32343-2013 [10]. Массовую долю ртути определяли по МИ 2878-2004 [11], содержание мышьяка по ГОСТ 26930-86 [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Цели мониторинга – сбор информации об интенсивности проявления эрозионных процессов на этапе биологической рекультивации и предотвращение возможных размывов грунтов вблизи границ рекультивируемого полигона ТБО.

Мониторинг включает маршрутные визуальные наблюдения, выявленные на эрозионно-опасных участках. К ним относятся [13]:

- выявление вновь образовавшихся эрозионных форм;
- измерение параметров эрозионных форм (глубина и ширина).

Контролируемые параметры:

- количество возникающих промоин и более крупных эрозионных форм;
- степень покрытия растительного покрова (%);
- процент (площади) поражения территории формами проявления эрозионных процессов.

Измерение параметров эрозионных форм (глубина, длина, ширина) представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что на откосах тела рекультивированного полигона ТБО по Сарapulьскому тракту отмечены эрозионные формы в количестве 98 штук, что составляет 1 % от всей площади полигона.

Оценка состояния растительности и растительных сообществ с целью установления степени токсичности и процесса восстановления почвенного покрова в ходе биологического этапа рекультивации указанного полигона проводилась в рамках «Рекомендаций по организации экологического мониторинга и производственного контроля полигонов захоронения твердых бытовых и промышленных отходов».

На исследуемой территории выявлено отсутствие биологического этапа рекультивации (посев растений мелиорантов), поэтому на теле рекультивированного полигона обнаружена сформированная естественным образом растительность. Средняя площадь проективного покрытия растительного покрова, согласно маршрутным наблюдениям, составляет 43,6 %. Данные по проективному покрытию представлены в табл. 2.

Таблица 1

Параметры эрозионных форм на рекультивированном полигоне ТБО
 [Table 1. Parameters of erosion forms at a recultivated landfill]

Номер эрозионной формы [Number of the erosion form]	Длина, м [Length, m]	Ширина, м [Width, m]	Глубина, м [Depth, m]	Расстояние между эрозионными формами, м [Distance between erosional forms, m]
1	13,3	0,22	0,04	8,1
2	11,3	0,15	0,07	3,2
3	11,5	0,18	0,13	10,0
4	21,1	0,20	0,09	8,0
5	15,3	0,13	0,14	4,3
6	30,3	0,12	0,11	4,3
7	61,2	0,38	0,26	4,2
8	36,9	0,24	0,14	3,4
9	60,0	0,90	0,26	5,0
10	54,0	0,60	0,22	4,8
11	42,5	0,41	0,22	5,0
12	51,6	0,37	0,07	5,9
13	50,0	0,32	0,27	4,76
14	19,5	0,29	0,14	1,5
15	45,0	0,20	0,10	3,6
16	35,0	0,25	0,30	29,5
17	35,0	0,20	0,17	19,5
18	45,0	1,00	0,60	10,0
19	25,0	1,70	1,00	9,6
20	28,5	0,19	0,16	2,5
21	50,0	0,22	0,19	15,7
22	53,0	0,14	0,11	1,6
23	39,1	0,19	0,16	3,1
24	12,0	0,21	0,05	2,3
25	75,5	0,20	0,04	8,1
26	15,0	0,20	0,05	4,7
27	30,0	0,19	0,10	8,3
28	64,8	0,12	0,12	11,7
29	23,2	0,20	0,05	2,8
30	45,0	0,16	0,11	10,0
31	71,5	0,34	0,17	13,3
32	60,0	0,15	0,10	7,9
33	85,0	0,44	0,20	4,5
34	20,0	0,38	0,17	7,0
35	30,0	0,20	0,13	3,0
36	15,0	0,20	0,11	9,0
37	45,5	0,48	0,28	14,9
38	25,0	0,20	0,15	150,0
39	40,0	0,13	0,09	7,0
40	44,0	0,10	0,16	4,2
41	22,0	0,18	0,14	8,0
42	31,4	0,21	0,23	26,0
43	32,4	0,55	0,34	9,5
44	17,0	0,39	0,38	3,9
45	16,4	0,12	0,14	12,8
46	39,0	0,37	0,21	11,0
47	38,2	0,30	0,14	26,0
48	37,4	0,69	0,35	7,4

Окончание табл. 1 / Table 1, ending

Номер эрозионной формы [Number of the erosion form]	Длина, м [Length, m]	Ширина, м [Width, m]	Глубина, м [Depth, m]	Расстояние между эрозионными формами, м [Distance between erosional forms, m]
49	36,9	0,37	0,33	7,2
50	39,5	0,15	0,17	5,0
51	38,0	0,66	0,30	6,0
52	41,4	0,23	0,15	3,6
53	39,8	0,32	0,41	11,4
54	38,3	0,60	0,40	6,1
55	38,6	0,37	0,23	3,7
56	39,2	0,29	0,25	7,3
57	38,0	0,43	0,25	4,0
58	7,9	5,90	0,90	15,0
59	41,0	0,34	0,23	3,0
60	41,0	0,62	0,70	10,0
61	40,0	0,24	0,42	8,4
62	40,0	0,27	0,36	6,0
63	40,0	0,20	0,35	15,0
64	44,0	0,50	0,54	6,7
65	40,6	0,27	0,36	11,0
66	6,7	9,10	1,10	15,0
67	42,0	0,37	0,42	4,7
68	41,4	0,29	0,38	4,3
69	35,9	0,32	0,27	2,4
70	38,9	0,64	0,23	9,5
71	21,0	0,52	0,29	14,0
72	12,3	4,00	1,40	5,0
73	23,6	0,47	0,42	19,3
74	23,6	0,32	0,45	2,5
75	32,5	0,22	0,19	10,2
76	32,5	1,30	1,20	2,5
77	19,0	0,29	0,18	44,2
78	14,9	0,32	0,17	11,4
79	35,1	0,13	0,29	17,3
80	74,1	0,34	0,30	3,0
81	72,8	0,27	0,12	7,4
82	13,0	0,80	0,46	9,5
83	7,5	0,17	0,24	3,4
84	8,2	0,47	0,47	7,2
85	9,5	0,51	0,47	18,5
86	9,0	0,49	0,44	1,9
87	12,5	0,75	0,32	6,6
88	8,8	0,21	0,23	8,8
89	10,8	0,13	0,25	3,2
90	71,9	0,19	0,10	7,2
91	61,5	0,32	0,13	14,0
92	64,0	0,17	0,07	15,8
93	41,8	0,18	0,06	27,8
94	23,3	0,20	0,07	10,2
95	39,7	0,25	0,11	7,4
96	33,9	0,33	0,20	11,7
97	17,4	0,35	0,14	5,0
98	51,3	0,22	0,15	2,0

Таблица 2

Проективное покрытие растительного покрова на территории рекультивированного полигона
 [Table 2. Projective cover of vegetation on the territory of a reclaimed landfill]

Номер пробной площадки [Number of the test area]	Проективное покрытие растительного покрова на учетных площадках, согласно методике В.С. Николаевского, % [9] [Projective vegetation cover on the accounting sites, according to the method of V.S. Nikolaevsky, % [9]]		
	Учетные площадки [Accounting sites]		
1	15	27	25
2	32	30	40
3	47	70	75
4	32	35	40
5	30	45	37
6	40	50	55
7	94	67	80
8	10	15	5
9	21	17	20
10	38	48	49
11	34	25	70
12	57	90	76

В пределах каждой скважины проведено описание растительного покрова на учетной площадке размером 1×1 м. На каждой учетной площадке определялся видовой состав. Определение проводилось как по живым экземплярам (в большинстве случаев), так и по собранным (для растений, не имеющих первый статус) определителям. Проективное покрытие оценивалось в процентах. Кроме того, для каждого вида растений определялся биоморфный состав и принадлежность к эколого-ценотической группе [14]. Всего описано шесть учетных площадок. Бланки геоботанических описаний представлены в табл. 3–8.

На исследуемых площадках доминируют луговые и рудеральные эколого-ценотические группы. Нужно отметить, что на полигоне произрастает интродуцированное растение – клен ясенелистный (американский) (*Acer negundo*), то есть растение, переселенное в местность, где оно раньше не существовало. Данное растение отмечено на двух учетных площадках – скважины 1 и 2, проективное покрытие 2 и 5 соответственно. Это обстоятельство может быть причиной инвазии агрессивного интродуцента в природную экосистему.

Таблица 3

Описание скважины 1
 [Table 3. Description of well 1]

Название растения [The name of the plant]	Эколого-ценотическая группа [Ecological-coenotic group]	Биоморфный состав [Biomorphic composition]	Проективное покрытие, % [Projective cover, %]
Клен американский (<i>Acer negundo</i>)	ру	мн	2
Лебеда стреловидная (<i>Atriplex sagittata</i>)	ру	ма	2
Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	лу	мн	60
Фиалка трехцветная (<i>Viola tricolor</i>)	ру	ма	6
Клевер гибридный (<i>Trifolium hybridum</i>)	ру	мн	15

Условные обозначения: лу – луговые; ру – рудеральные; мн – многолетники; ма – малолетники.
 Legend: лу – meadow; ру – ruderal; мн – perennials; ма – juveniles.

Таблица 4

Описание скважины 2
[Table 4. Description of well 2]

Название растения [The name of the plant]	Эколого-ценотическая группа [Ecological-coenotic group]	Биоморфный состав [Biomorphic composition]	Проективное покрытие, % [Projective cover, %]
Пырей ползучий (<i>Elymus repens</i>)	ру	мн	50
Клен американский (<i>Acer negundo</i>)	ру	мн	5
Лебеда стреловидная (<i>Atriplex sagittata</i>)	ру	ма	14
Фиалка трехцветная (<i>Viola tricolor</i>)	ру	ма	4
Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i>)	ру	мн	20
Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i>)	ру	мн	7

Условные обозначения: ру – рудеральные; мн – многолетники; ма – малолетники.
Legend: ру – ruderal; мн – perennials; ма – juvenile.

Таблица 5

Описание скважины 3
[Table 5. Description of well 3]

Название растения [The name of the plant]	Эколого-ценотическая группа [Ecological-coenotic group]	Биоморфный состав [Biomorphic composition]	Проективное покрытие, % [Projective cover, %]
Лебеда стреловидная (<i>Atriplex sagittata</i>)	ру	ма	2
Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	лу	мн	83
Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i>)	ру	мн	10
Клевер пашенный (<i>Trifolium arvense</i>)	ру	ма	5

Условные обозначения: лу – луговые; ру – рудеральные; мн – многолетники; ма – малолетники.
Legend: лу – meadow; ру – ruderal; мн – perennials; ма – juvenile.

Таблица 6

Описание скважины 5
[Table 6. Description of well 5]

Название растения [The name of the plant]	Эколого-ценотическая группа [Ecological-coenotic group]	Биоморфный состав [Biomorphic composition]	Проективное покрытие, % [Projective cover, %]
Лебеда стреловидная (<i>Atriplex sagittata</i>)	ру	ма	7
Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i>)	ру	мн	10
Ромашка лекарственная (<i>Matricaria chamomilla</i>)	ру	ма	30
Люцерна посевная (<i>Medicago sativa</i>)	ру	мн	23
Бескильница расставленная (<i>Puccinellia distans</i>)	ру	мн	30

Условные обозначения: ру – рудеральные; мн – многолетники; ма – малолетники.
Legend: ру – ruderal; мн – perennials; ма – juvenile.

Таблица 7

Описание скважины 6
[Table 7. Description of well 6]

Название растения [The name of the plant]	Эколого-ценотическая группа [Ecological-coenotic group]	Биоморфный состав [Biomorphic composition]	Проективное покрытие, % [Projective cover, %]
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i>)	ру	мн	15
Ромашка лекарственная (<i>Matricaria chamomilla</i>)	ру	ма	20
Пырей ползучий (<i>Elymus repens</i>)	ру	мн	25
Пикульник обыкновенный (медовик) (<i>Galeopsis tetrahi</i>)	ру	ма	4
Люцерна посевная (<i>Medicago sativa</i>)	ру	мн	13
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i>)	ру	ма	7
Горец птичий (<i>Polygonum aviculare</i>)	ру	ма	10
Вероника дубравная (<i>Veronica chamaedrys</i>)	ру	мн	6

Условные обозначения: ру – рудеральные; мн – многолетники; ма – малолетники.
Legend: ру – ruderal; мн – perennials; ма – juvenile.

Таблица 8

Описание скважины 11
[Table 8. Description of well 11]

Название растения [The name of the plant]	Эколого-ценотическая группа [Ecological-coenotic group]	Биоморфный состав [Biomorphic composition]	Проективное покрытие, % [Projective cover, %]
Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	лу	ма	30
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i>)	ру	мн	5
Люцерна посевная (<i>Medicago sativa</i>)	ру	мн	30
Клевер гибридный (<i>Trifolium hybridum</i>)	ру	мн	20
Щавель малый (<i>Rumex acetosella</i>)	ру	ма	5
Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i>)	ру	мн	10

Условные обозначения: лу – луговые; ру – рудеральные; мн – многолетники; ма – малолетники.
Legend: лу – meadow; ру – ruderal; мн – perennials; ма – juvenile.

По результатам химического анализа почвенных образцов и укусов фитомассы на содержание в них тяжелых металлов (медь, никель, мышьяк, кобальт, ртуть) случаев превышения ПДК не обнаружено. Об этом свидетельствуют данные протоколов испытаний аккредитованной лаборатории АО Агрохим-центр «Удмуртский».

Заключение

На основании проведенного мониторинга можно сделать вывод, что на откосах тела рекультивированного полигона ТБО по Сарапульскому тракту отмечены эрозионные формы в количестве 98 штук, что составляет 1 % от всей площади полигона. Анализ состава эколого-ценотических групп и биоморфного состава, сформированного на полигоне растительного покрова, показал, что растительность представлена естественно сформированным растительным покровом: в основном луговыми и сорно-рудеральными видами рас-

тений, служащими индикаторами повышенной антропогенной нагрузки исследуемой территории полигона.

В целом обогащение флоры данного полигона ТКО по Сарапульскому тракту происходит благодаря процессам апофитизации, представляющим интерес в эколого-ботанических исследованиях и требующим более тщательного изучения в данном направлении.

Список литературы

- [1] Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. М.: Минстрой РФ, 1997. 45 с.
- [2] Доклад министра Д.Н. Удалова «Ликвидация накопленного экологического ущерба» на Экологической конференции 4 июня 2019 года. URL: http://www.minprirodaudm.ru/images/eeco_conf_2019/materials/3_1_1_doc.pdf (дата обращения: 22.02.2020).
- [3] Унанян К.Л., Баранов А.В., Наполов О.Б. Оценка развития эрозионных процессов на Бованенковском НГКМ // Газовая промышленность. 2011. № 10. С. 84–85.
- [4] Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель: утв. Роскомземом 28 декабря 1994 г., Минсельхозпродом РФ 26 января 1995 г., Минприроды РФ 15 февраля 1995 г. URL: <http://eco.h11.ru/law/doc00240.html> (дата обращения: 22.02.2020).
- [5] ГОСТ 21.302-2013. Система проектной документации для строительства (СПДС). Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям. М.: Стандартинформ, 2015. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108745> (дата обращения: 22.02.2020).
- [6] Емельянов И.Г. Разнообразие и устойчивость биосистем // Успехи современной биологии. 1994. Т. 114. Вып. 3. С. 304–318.
- [7] Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеоздат, 1981. 109 с.
- [8] Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
- [9] Гришина Л.А., Самойлова Е.М. Учет биомассы и химический анализ растений. М.: МГУ, 1971. 99 с.
- [10] ГОСТ 32343-2013. Корма, комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М.: Стандартинформ, 2014.
- [11] МИ 2878-2004. Массовая концентрация общей ртути в почве. Методика выполнения измерений атомно-абсорбционным методом. М.: ФГУП ВНИИМС, 2004. 12 с.
- [12] ГОСТ 26930-86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка (с изменением № 1). М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
- [13] Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. М.: КДУ, 2007. 424 с.
- [14] Родин Л.Е., Релизов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 11.04.2020

Дата принятия к печати: 17.05.2020

Для цитирования:

Красноперова С.А., Борисова Е.А. Мониторинг эрозионных процессов и состояния растительного покрова рекультивированного полигона твердых коммунальных отходов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 225–236. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-225-236>

Сведения об авторах:

Красноперова Светлана Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры геологии нефти и газа Удмуртского государственного университета. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4818-6302>, eLIBRARY SPIN-код: 4680-9236. E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Борисова Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды Удмуртского государственного университета. E-mail: e_borisova75@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-225-236

Scientific article

Monitoring of the erosion processes and the vegetation cover of the reclaimed landfill solid municipal waste

Svetlana A. Krasnoperova✉, Elena A. Borisova

*Udmurt State University,
1 Universitetskaya St, Izhevsk, 426000, Russian Federation*

✉ krasnoperova_sve@mail.ru

Abstract. Depositing of the solid municipal waste in landfills that do not provide for a set of measures to protect the environment from negative impacts leads to significant pollution of ecosystem components: soil cover, surface and underground water, plant and animal life. One of the most dangerous components in waste disposal is filtrate, which includes nitrate and nitrite ions, as well as many heavy metals. The study of chemical analysis of the filtrate of multiple landfills and landfills shows that there are biologically dangerous organic substances, various compounds of nitrogen and sulfur forms, heavy metal ions, and pathogenic media that exceed the maximum permissible concentrations in the places where waste is deposited. It follows that the implementation of effective environmental measures necessary to control the state of wildlife components in places where solid municipal waste is buried, which reduces the adverse impact on the environment, is the most urgent problem. In the course of the study, erosion processes and the state of vegetation cover of the reclaimed SMW landfill along the Sarapulsky tract were monitored. Its levels of environmental hazard were identified.

Keywords: solid municipal waste, erosion processes, remediation, monitoring, environmental impact

References

- [1] *Instruktsiya po proektirovaniyu, ekspluatatsii i rekul'tivatsii poligonov dlya tverdykh bytovykh otkhodov* [The instruction for the design, operation and reclamation of landfills for solid waste]. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation; 1997. (In Russ.)
- [2] *Doklad ministra D.N. Udalova "Likvidatsiya nakoplennoy ekologicheskoy ushcherby" na Ekologicheskoy konferentsii 4 iyunya 2019 goda* [The report of the Minister D.N. Udalov "Elimination of accumulated environmental damage" at the Environmental Conference on June 4, 2019]. Available from: http://www.minpriroda.mvd.ru/images/economy/conf_2019/materials/3_1_1_1_doc.pdf (accessed: 22.02.2020). (In Russ.)
- [3] Unanyan KL, Baranov AV, Napolov OB. Assessment of the development of erosion processes at the Bovanenkovskoye NGCM. *Gas industry*. 2011;(10):84–85 (In Russ.)
- [4] *Metodicheskie rekomendatsii po vyyavleniyu degradirovannykh i zagryaznennykh zemel'* [Guidelines for identifying degraded and polluted lands]: approved by Roskomzem on December 28, 1994, the Ministry of Agriculture and Food of the Russian Federation on January 26, 1995, the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation on February 15, 1995. Available from: <http://eco.h11.ru/law/doc00240.html> (accessed: 22.02.2020). (In Russ.)
- [5] GOST 21.302-2013. *Sistema proektnoy dokumentatsii dlya stroitel'stva (SPDS). Uslovnnye graficheskie oboznacheniya v dokumentatsii po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam* [The system of project documentation for construction (SPDS). Conditional graphic designations in the documentation for engineering and geological surveys]. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200108745> (accessed: 22.02.2020). (In Russ.)
- [6] Emelyanov IG. Diversity and stability of biosystems. *Successes of Modern Biology*. 1994;114(3):304–318. (In Russ.)
- [7] *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu polevykh i laboratornykh issledovaniy pochv i rasteniy pri kontrole zagryazneniya okruzhayushchei sredy metallami* [Guidelines for conducting field and laboratory studies of soils and plants in the control of environmental pollution by metals]. Moscow: Gidrometeoizdat Publ.; 1981. (In Russ.)
- [8] Nikolaevskii VS. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Ecological assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems by phyto-indication methods]. Pushkino: VNIILM Publ.; 2002. (In Russ.)
- [9] Grishina LA, SamoiloVA EM. *Uchet biomassy i khimicheskii analiz rasteniy* [Accounting of biomass and chemical analysis of plants]. Moscow: MGU Publ.; 1971. (In Russ.)
- [10] GOST 32343-2013. *Korma, kombikorma. Opredelenie soderzhaniya kal'tsiya, medi, zheleza, magniya, margantsa, kaliya, natriya i tsinka metodom atomno-absorbtsionnoy spektrometrii* [Feeds, compound feeds. Determination of the contents of calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc by atomic absorption spectrometry method]. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russ.)
- [11] MI 2878-2004. *Massovaya kontsentratsiya obshchei rtuti v pochve. Metodika vypolneniya izmereniy atomno-absorbtsionnym metodom* [Mass concentration of total mercury in soil. Method of performing measurements by atomic absorption method]. Moscow: FGUP VNIIMS Publ.; 2004. (In Russ.)
- [12] GOST 26930-86. *Syr'e i produkty pishchevye. Metod opredeleniya mysh'yaka (s izmeneniyem № 1)* [Materials and food products. Method for determining arsenic (with change No. 1)]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov Publ; 2002. (In Russ.)
- [13] Korolev VA. *Monitoring geologicheskikh, litotekhnicheskikh i ekologo-geologicheskikh sistem* [Monitoring of geological, lithotechnical and ecological-geological systems]. Moscow: KDU Publ.; 2007. (In Russ.)

- [14] Rodin LE, Relizov NP, Bazilevich NI. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Methodological guidelines for studying the dynamics and biological cycle in phytocenoses]. Leningrad: Nauka Publ.; 1968. (In Russ.)

Article history:

Received: 11.04.2020

Revised: 17.05.2020

For citation:

Krasnoperova SA, Borisova EA. Monitoring of the erosion processes and the vegetation cover of the reclaimed landfill solid municipal waste. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):225–236. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-225-236>

Bio notes:

Svetlana A. Krasnoperova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Geology of the Udmurt State University. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4818-6302>, eLIBRARY SPIN-code: 4680-9236. E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Elena A. Borisova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Engineering of the Udmurt State University. E-mail: e_borisova75@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-237-251

UDC 911.52

Scientific article

Factors influencing to formation of geosystems of southern slope of the Greater Caucasus in the Republic of Azerbaijan and assessment of landscape-environmental capacity

Jahan Siradj Mammadova

*Azerbaijan State Pedagogical University,
68 Uzeyir Hajibeyov St, Baku, AZ1000, Republic of Azerbaijan*

✉ sirac.memmedov54@mail.ru

Abstract. The Azerbaijani part of the Greater Caucasus consists of mountain ranges, mountainous depressions and sloppy plains. Different types of relief forms and landscapes have been formed during the repetition of endogenous and exogenous processes that have emerged as a result of the mutual influence of internal and external forces on the relief. The factors which influence the southern slope geosystems of the Greater Caucasus were first studied by us. Landscape-ecological assessment of the area was carried out using suitable, satisfactory, tense, crisis-critical and standard criteria, and a landscape map was compiled on its basis. The materials include the steppe expedition data. The applied methods are landscape-geomorphological, historical, comparative, mathematical-statistical, cartographic. Resistance of natural landscapes to anthropogenic influences is determined.

Keywords: Azerbaijan, Greater Caucasus, mountain geosystems, ecological potential, ecological assessment, landscape-ecological assessment, mudflow, landslide

Introduction

Within the territory of Azerbaijan, on the southern slope of the Greater Caucasus natural landscapes have been changed and replaced by modern forms where the population is densely populated, economic areas, as well as the transport network developed, the rapid growth of anthropogenic factors, and natural disasters, such as active floods, landslide, avalanche, etc., occur intensively. The components and features of geosystems in the area, and environmental instability of natural environment are associated with anthropogenic impacts which is constantly becoming strong. From this point of view, the assessment of mountain geosystems and their landscape-ecological capacity has become one of the actual problems of geography in modern age.

© Mammadova J.S., 2020



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

The object of research

The southern slope of the Greater Caucasus extends to the east (Girdmanchay basin) from the west (Georgian border) at 220 km within the territory of Azerbaijan. The northern part of the area passes through Greater Caucasus watershed, the southern one passes through the north part of Ganikh-Eyrichay depression.

The southern slope of the Greater Caucasus does not create a zone with the same width and has a wide variety of sizes along the slope. The largest parts of the southern slope are in the east and west, and they are 25–30 km length. The narrowest part of the slope is approximately in its central part – Dashagilchay basin and it is up to 10 km width. In the southern slope of Caucasus ranges the watershed part consists of narrow, high-prone peaks. The relief of the slope starts from 500–600 m from absolute height and rises up to 4466 m (the Bazar-duzu peak). The southern slope of the Greater Caucasus is bordered by the Main Watershed in the north from orographic point of view, and in the southwest by Ganikh-Eyrichay sloppy plain.

Modern scientific-theoretical and methodological bases of research

N.A. Qvodzetski, A.Q. Isachenko, V.S. Preobrojenski, N.L. Beruchashvili, V.I. Bulatova, I.M. Mamay, A.V. Melnik, B.A. Budagov [1–3], A.A. Mikayilov, M.A. Museyibov, E.K. Alizade [1; 4] and other scientists have made great contributions to the research of mountainous lands landscape.

The main purpose of the research

It is the evaluation of modern geosystems of southern slope of the Greater Caucasus and their landscape-ecological potential.

To achieve the goal, the following tasks have been proposed:

- comparative analysis of modern scientific-theoretical and methodological problems of complex landscape researches in mountain geosystems;
- studying the impact of economic landscapes and settlements on natural landscape complexes;
- assessment of landscape-ecological potential in mountain geosystems.

Analysis

One of the important tasks of modern landscape science is to achieve sustainable development of natural geosystems, at the same time to prepare the scientific foundations of creating ecologically safe, highly productive agrolandscapes. Solution of this problem is also depending on efficient use of existing geosystems, the study of exodynamic processes occurring in them, and preparation of scientific bases of environmental problems of landscape complexes, as the landscape feature is formed under the complex interactions of its natural components. Therefore, the deterioration caused by any anthropogenic impact in a particular landscape structure necessarily leads to the change of lithogenic, hydrochloric bases of its

natural potential and biotic change. Ecological deterioration to any part of the natural complex will necessarily lead to the ecological change of geosystem structure.

The factors influencing to formation of modern landscape. Geological and geomorphological conditions of southern slope of the Greater Caucasus, can be attributed by neotectonic movements observed intensively, its climate, morphometric indicators, flood accidents, economic activity of people, etc.

1. Geological and geomorphological conditions of the area. The southern slope of the Greater Caucasus has a rather complicated geological structure. The Mesozoic and Cenozoic sediments which spreads widely in the Alpine Zone form large tectonic structures (anticlinal, synclinal, isoclinal, overthrust, in the west horst-synclinal, horst-anticlinal ridges, graben-synclinal depressions). Especially, Zagatala-Govdagh synclinorium which consists of the Cretaceous period rocks lies to a big area and combines numerous ranges, ridges, intermountainous depressions in itself. Its northern part covers the Tinov-Rosso-Garagaya district [1]. The highest peaks are Tinov-Rosso, Kuton, Garagaya, Tufan, Babadag, Bazarduzu and others, it covers the areas which are up to 3400–4466 m high.

From Demiraparanchay to the East, morphostructures split more sharply, chalk sediments increase, there are Babadagh horst-anticlinorium, Govdagh horst-synclinorium, Guzduchay-Alataş horst-anticlinorium ranges. From the Demiraparanchay to the West, the relief is very steep, the main reason for it is that Southern microplate and Skif microplate has been exposed to folding in the collision zone.

The upstream part of the river consists of narrow streams and extends in the middle and lower parts. In the middle and highland zone the river valleys are 700–900 m, and 250–300 m in the lower zone [2].

The alluvial-proluvial sediments observed in the river valleys cover large areas such as Demiraparanchay, Balakenchay, Vandamchay and Mazimchay. At the same time, Balakenchay and Kishchay have moraine sediments at the depths of 30–100 m. On top of the highland, jurassic sandstone and limestone rocks are commonly encountered [3]. From a geological point of view, from the east to the west the sediments on the southern slope are superior, while the traces of the lower jurassic period are observed in the Alpine zone. In general, we can say that as a result of interaction of geomorphological features of the relief with one another, the altitude landscapes are violated, and their horizontal structure becomes complicated [4].

2. Intensively observed neotectonic movements. One of the factors that play an important role in formation of mountainous landscapes is neotectonic movements. The impacts of neotectonic movements on the southern slope landscape of the Greater Caucasus have been studied. Intensive repetition of natural destructive processes leads to disintegration of relief, transformation of landscape complexes, replacement of natural landscapes to anthropogenic landscapes.

Development of landscape and its morphological parts on the southern slope of the Greater Caucasus has a gradual character, and the change term of its structure depends on taxonomic level of natural terrain complexes, and only facies are exposed to the most rapid and short-term changes. It takes a long time to replace the landscape structure with a completely new one. As a result of devastating natural phenomena, the structure of the landscape and its morphological

sections is changed relatively quickly. In landscape complexes consistently new elements, new facies emerge, and it shows the changes to the appearance of new landscapes in the place of old landscapes.

3. The climate conditions of the area. The total solar radiation in the southern slope of the Greater Caucasus changes between 125–145 kcal cm²/year. The active temperature more than 10 °C is 450–800 °C in total. Humidification index (Md) in the research area varies from 0.15 to 0.60 [5].

Table 1

Evaluation of climate indicators on the landscape zone of the South Caucasus along the territory of Azerbaijan

Names of landscape zones	Amount of precipitation, mm	Total of average daily temperature, a day	Average temperature of July, °C	Average temperature of January, °C	Number of days below 0 °C	Number of days with snow cover
The forest and forest-bushes of foothills	400–600	300–330	24–26	1; 2	40–55	20–40
The forests of the low highland	600–1000	250–300	22–24	0; 1	60–75	50–80
The forests of the middle highland	1000–1200	200–250	20–22	0; –2,5	80–120	100–130
Subalpine meadows	1200–1400	200–150	15–20	–2,5; –5	130–145	140–160
Alpine meadows	1000–1200	130–100	10–15	–5; –10	150–170	160–180
Subnival	600–800	80–50	5–10	–10; –12	180–200	190–200
Nival-rocks	600 and less	50 and less	5 and less	–12 and less	200 and more	220 and more

Strong rains on the southern slope of the Greater Caucasus are observed in May and July, the precipitation with average intensity <0.1 mm/min is very frequent (52%), the precipitation with 0.31–0.50 and 0.51–1 mm/min is 7.7 and 1.8% respectively. However, the precipitation with up to 0.1 mm/min is more likely to occur in April and October. The precipitation with more than 0.25 mm/min is mainly recorded in June. All data is summarized in Table 1.

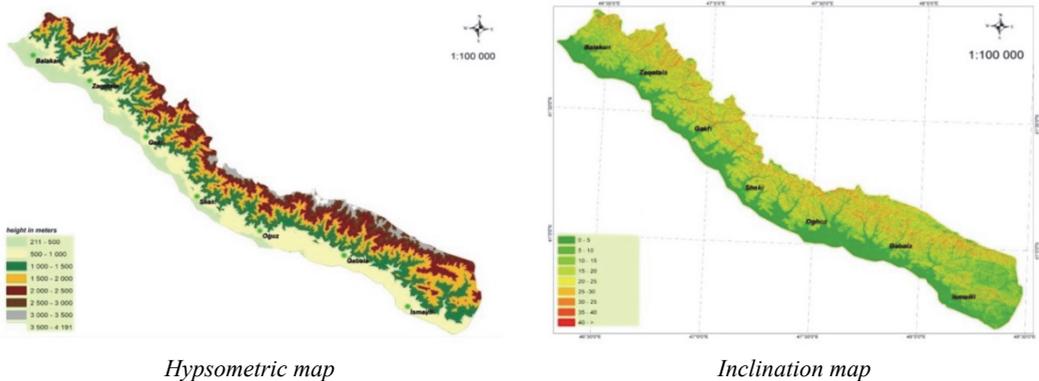


Figure 1. Hypsometric and inclination maps of the southern slope of the Greater Caucasus within the territory of Azerbaijan

4. Morphometric indicators of the area. It is very important to consider the hypsometric indicators of the area during the assessment of the landscape-ecological potential of the southern slope in modern age. For this purpose, digital

models of terrain relief have been established by us based on aerospace images of the surveyed area, with the help of ArcGIS 10.1 software in the GIS environment.

The morphometric parameters were used to study relief forms using the software described above. So, firstly taking into consideration the altitude parameter, hypsometric and inclination maps of the southern slope of the Greater Caucasus have been compiled by us (Figure 1).

5. Flood accidents repeating in the area frequently. Flood accidents are one of the factors that play a special role in the formation of modern landscapes on the southern slope of the Greater Caucasus. The geological-tectonic conditions, the amount of precipitation, as well as the crumbles, placers, avalanches, landslide, etc., play a great role in the development and distribution of floods that are effective in the formation of existing landscapes in the study area. Floods of natural origin are formed as a result of erosion, landslide, crumble and avalanche, and floods of anthropogenic origin, as well as agricultural and technogenic processes.

Development of floodplains in the study area is evident in the basins which refer to upper branches of Saribash village and in the basins of the Kurmuk river, between Mukhakhchay and Filfilchay rivers [6]. Along with them, Akvaychay (source of the Bulanigsu river), Garagayachay (source of Shinchay), Malukudchay (source of Filfilchay) and others, nival-subnival in mountainous region, Garaguzeychay (source of Gaynarchay), the source of Sari Guneydere river (Kishchay basin), mountain-meadow in mountainous region of Koshanchay (Kuncutchay Basin), on the left eastern slope of Kishchay valley in Kishchay region, Enischay basin, on the northern slope of Yarpizbazar mountain near Ilisu village and other areas of the mountain-forest landscape flood accidents form. The intensification of flood accidents plays important role in the formation of the relief, landscape and so on [7]. Such cases, flood and its destructive power that is effective on the dynamics, formation, transformation of the landscape are determined by the volume of its suspended materials.

6. Anthropogenic activity. One of the factors influencing to formation of modern landscape are anthropogenic effects. As a result of population impact on the mountainous and foothill areas of Azerbaijan, landscape differentiation has happened. The devastating flood accidents observed in the highland geosystems have great economic damage to the region, and natural landscape complexes are exposed to change.

Structural features of landscapes are changing due to economic activity of people. Due to the fact that the foothill zones are adopted more, here distortions emerge in the landscape complexes, and the first significant change takes place in the vegetation and fauna of that area. As a result of anthropogenic impact, new features appear in the ground cover [8].

In some regions where irrigation agriculture is developing, some features of the soil humidification regime are subject to change, the level of groundwater is rising – microclimate conditions vary considerably. As a result of increasing impact of people on the southern slopes landscape complexes in the Greater Caucasus, expansion of the area appropriation more than normal and growing of human impact on natural territorial complexes lead to negative ecogenic relief forms. As a result, the balance of landscapes is sharply distorted. To reveal such

problems in time, investigating mountain landscapes and compiling the landscape map of the area are of great importance.

The landscape map of the southern slope of the Greater Caucasus.

It is important to determine the natural potential and differential properties of mountain geosystems on altitude zones during the research. Depending on the lithological content of rocks, fragmentation and density of the relief, slopes inclination, the climatic conditions of the area, its soil and vegetation, population settlement, as well as their economic activity the differential features of modern landscape can be determined. The assessment of natural resources in mountain geosystems should be primarily carried out on the components [9]. So, depending on the altitude, development process of differentiation on the main indicators of natural resource potential in geosystems should be calculated. For this purpose, the degree of adopting high, middle and low highlands on the main components of landscape, and development directions of planting areas and livestock should be determined. To define landscape and ecological potential, firstly, the landscape map of the area should be developed. For this purpose, the landscape map of the southern slope of the Greater Caucasus (Figure 2) have been compiled by us using landscape map of Azerbaijan compiled by A.A. Mikayilov, E.K. Alizade, M.C. Ismayilov and others on the landscape map of Azerbaijan, as well as all actual materials obtained during the research, applying modern GIS technologies on images taken on aerospace monitoring systems (using the ArcGIS 10.1 software).

Landscape types:

A. HIGH MOUNTAIN LANDSCAPES WITH COLD, HUMID CLIMATE:

I. Nival landscapes:

1. Nival-rocky landscapes deprived of soil-vegetation cover in medium and partly dissected slopes of high mountain.

2. The slopes deprived of the soil-vegetation cover in the intensive dissected glacial slopes of high mountain and slopes where crumble-placers develop dynamically.

II. Subnival landscapes:

3. The soil-vegetation cover of the middle and weakly dissected slopes of high mountain and its bedrocks on the surface.

4. Alpine lowlands in the shape of stains on weathering materials in weakly developed mountain-lowland soils of medium and intensive dissected steep slopes of high mountain.

5. Steep stony slopes, deprived of intensive dissected soil-vegetation of high mountains.

B. MOUNTAIN-LOWLAND LANDSCAPES WITH HUMID AND MILD-HUMID CLIMATE:

III. Alpine lowlands:

6. The plants such as bromus, triple clover, meadow fescue, poaceae in the rewashing mountain-lowland lands at a low-density of intensively dissected, very steep, partly steep and stony mountain slopes.

7. The plants such as lowland fescue, thyme, triple clover and bromus in the rewashing mountain-lowland lands at a low-density of steep mountain slope which is intensively dissected and exposed to erosion.

8. Island-shaped mountain meadows in the mountain-lowland lands that developed weakly of the rock juts of intensive dissected (bare), steep rocky-stony slopes.

9. The plants such as buttercup, thyme and clover in the erosional mountain-meadow lands of mid-dissected, steep (stingy) mountain slopes.

IV. Subalpine lowlands:

10. The plants such as foxtail grass, triple clover, lowland fescue and different grasses in the dense mountain-lowland lands of synclinal intermountain depressions and undissected valley bottoms of high mountains.

11. The plants such as triple clover, fescue, poaceae in the mountain-lowland lands of weakly-dissected landslide slope sod.

12. The plants such as lowland fescue and bromus in the soddy mountain-meadow lands of mid-dissected landslide slopes.

13. The plants such as thyme, clover, triple clover and different herbs in the soddy mountain-lowland lands of mid-dissected, mid-inclined mountain slopes.

14. Subalpine lowlands after the forest (thyme, triple clover) in the less-inclined, gravelly lands of intensive dissected, steep mountain slopes.

15. The plants such as triple clover and different herbs in the soddy mountain-lowland lands of mid-dissected, mid-inclined landslide slopes.

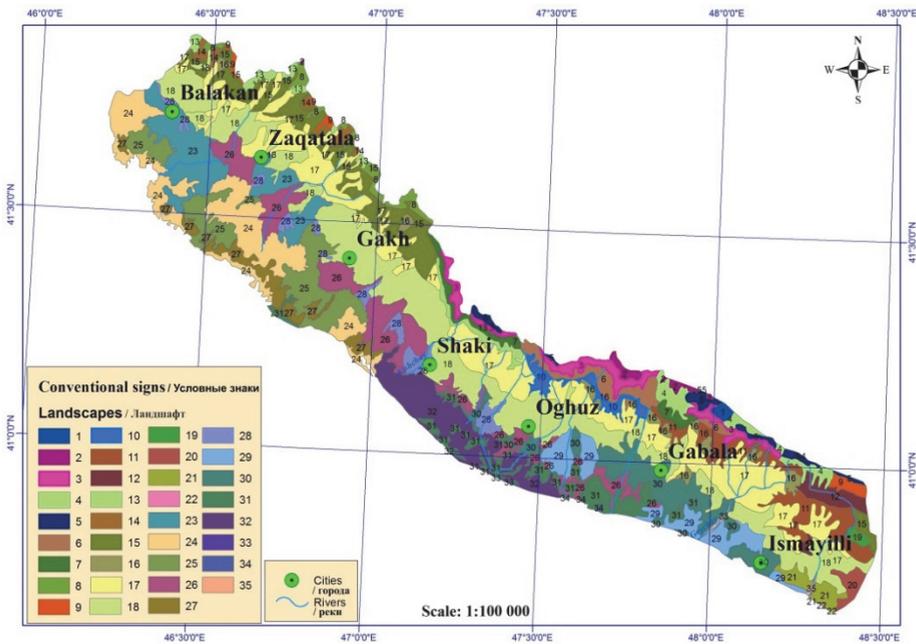


Figure 2. Landscape map of the southern slope of the Greater Caucasus within the territory of Azerbaijan

C. MILD-HUMID MOUNTAIN-FOREST LANDSCAPES:

V. Beech-hornbeam and oak-hornbeam forests of middle mountain and partly high mountain:

16. Beech-oak-hornbeam forests in the brown mountain-forest lands of intensive dissected high mountain slopes.

17. Beech-hornbeam and oak-hornbeam forests in the brown mountain-forest lands of mid-dissected, mid-inclined low and middle mountain slopes.

18. Beech-hornbeam-oak forests in the brown mountain-forest lands of mid-dissected, mid-inclined low and middle mountain slopes.

D. LANDSCAPE OF MIDDLE AND LOW MOUNTAINS WITH HUMID CLIMATE:

VI. Forest-steppe, steppe and mountain-lowland landscapes of low and middle mountains:

19. Paliurus, dog rose bushes and with wormwood-different herbs meadow-steppes after the forest in the brown lands of mid-dissected landslide slopes of intermontane depressions.

20. Oak-hornbeam forests and bushes after the forest, the lowlands with different herbs in the brown lands of weakly dissected landslide slopes.

21. Barberry, dog rose, blackberry bushes and the lowland-steppes with different herbs after the forest in the brown and mountain-lowland lands of mid-dissected landslide slopes.

22. Hornbeam-oak and oak-hornbeam forest bushes, thin lowland-steppes in the mountain-brown lands of intensive dissected slopes.

E. LANDSCAPES OF ACCUMULATIVE PLAINS WITH MILD-HUMID CLIMATE:

VII. Forest, bush-meadow and forest-steppe landscapes of accumulative plains:

23. Oak-hornbeam forests which were replaced with seliteb area – orchards and plantation agrolandscapes in the brown lands of weakly dissected inclined plains.

24. Bushy steppes after the forest which were replaced with seliteb area – orchard and plantation agrolandscapes in the brown lands of undissected, less-inclined, terraced plains.

25. Meadow-bushy steppes after the forest were replaced with orchard-plantation agrolandscapes in the brown lands of undissected, less-inclined, terraced, alluvial-proluvial plains.

26. Bushes (paliurus, dog rose, blackberry) and wormwoods and different herbs after the forest in the brown lands of weakly dissected, high proluvial plains.

27. Seliteb-plantation landscapes and white-grassed steppes with wormwood in the brown lands of weakly dissected, smooth plains.

28. The bushes and steppes with different herbs which are used as a pasture in the brown lands of undissected, inclined proluvial-stoned plains.

29. Oak-hornbeam forests in the brown lands of mid-dissected, less-inclined, alluvial-proluvial plains.

30. Oak-hornbeam forest bushes and lowland-steppes which were changed into agrolandscapes in the brown lands of weakly dissected, alluvial-proluvial plains.

31. Oak-hornbeam forests and bushes in the alluvial-lowland lands of intensive dissected, terraced plains.

32. After the forest, the forest bushes along the river and white-grassed wormwood plants which are changed into orchard-plantation landscapes in the alluvial-lowland lands of weakly dissected, less-inclined, smooth plains.

VIII. The landscapes of arid-denudation low mountains and depressions:

33. Paliurus, blackflower, pomegranate and wormwood-white grassed steppes in the dark-chestnut (grey-brown) and brown lands of undissected, less-inclined low-mountains.

IX. Dry steppe and xerophyte-steppe landscapes of denudation-accumulative plains:

34. The plants with wormwoods-white grass, wormwood-ephemeral plants in the chestnut (grey-brown) lands of weakly dissected, less-inclined, flat plains.

X. Intrazonal landscapes of accumulative plains:

35. Lowland-steppe, lowland-bog and lowland-bush in the alluvial lowlands of mid-dissected river valleys.

The assessment model of landscape-ecological capacity

The perspectives of solving the ecological problems of the southern slope of the Greater Caucasus is related to the continuation of landscape-ecological researches. The studies in the research area which were carried out by us once again prove that the ecological balance of the landscape depends on ecological approach to the studying geosystems and their components and properties and it depends on the current level of ecological stability degradation in the natural environment which is the result of constantly-increasing anthropogenic impact.

Environmental aspects of landscape surveys are related to the deterioration of the environment in which people pay for daily activity and material assurance. One of the most important issues of landscape-ecological researches is the assessment of landscape complexes, their natural potential, the degree of anthropogenic change, the environmental risk and the state of the geosystems as a whole.

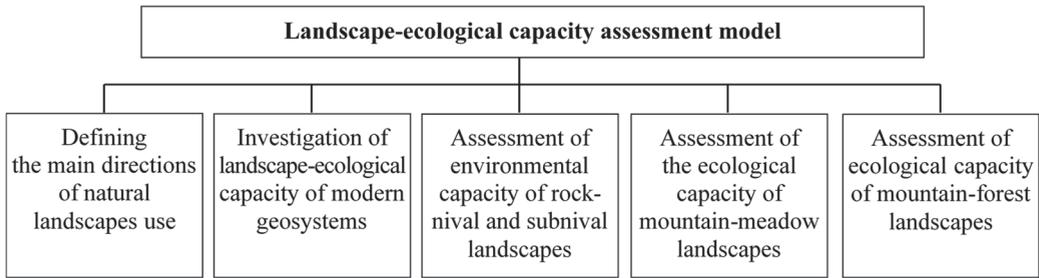


Figure 3. The assessment model of landscape-ecological capacity of modern geosystems

Taking into account the factors we have mentioned, we have prepared model for the assessment of the landscape-ecological potential of modern geosystems in order to assess the modern geosystems of the Greater Caucasus and their landscape-ecological capacity (Figure 3).

The assessment of landscape-ecological capacity

While determining the main directions of natural landscape use in southern slope of Greater Caucasus, assessing the landscape-ecological potential of the modern geosystems, we have prioritized the results of researches in the area, as well as traditional methods, however we preferred using the most modern approaches and methods [10]. The reason is that research techniques and geographical maps based on them before us were of a general nature and reminded a collection of laconic information for a particular area. Relief digital models were previously obtained by vectorization of topographic maps or using topographical shooting materials. At present, this method is not considered as effective because it is a time consuming process for a large area. From this point of view, such investigations have been carried out in recent years with the distance probe method. It should be noted that the maps compiled by modern Geographic Information Systems play a role

as a numerous data collection for the research area, as well as, an updated multi-stage database, which further enriched by adding new information.

In the modern geosystems, as a result of the various ecological processes affecting the ecological capacity of landscapes, as well as the decoding of aerocosmic images we have determined that mountain-forest and mountain-meadow landscapes are expanding, and water-erosion processes are developing on inclined slopes. Taking these into account, we have compiled an environmental potential map of the southern slope landscapes of the Greater Caucasus and combined the ecological capacity of landscapes in five groups – extreme, low, medium, relatively high, high (Figure 4).

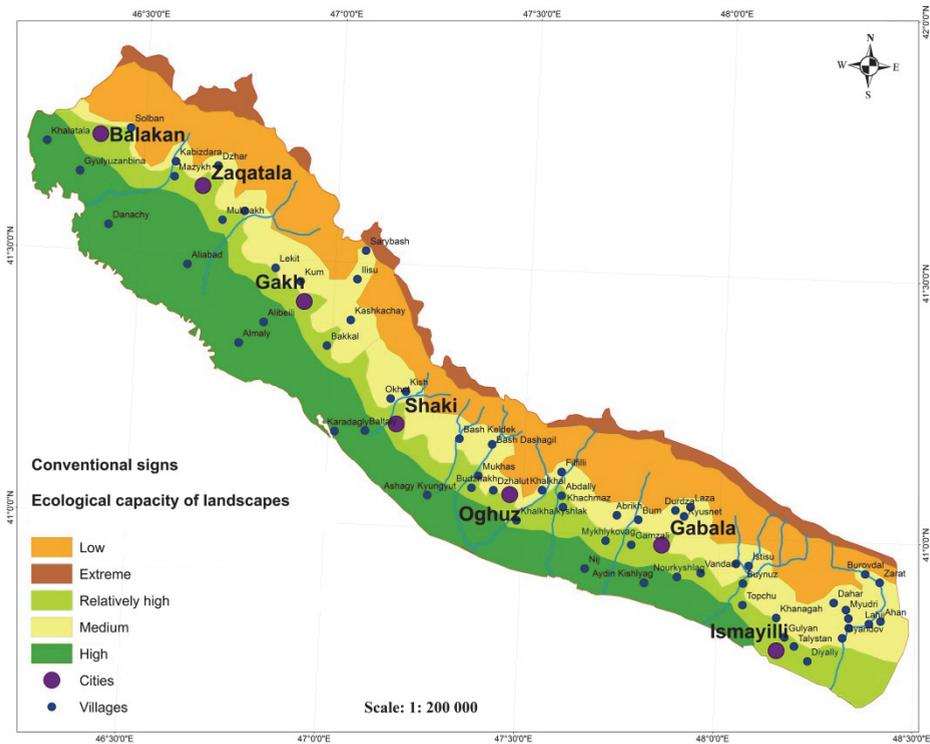


Figure 4. The ecological-capacity map of the southern slope landscape of the Greater Caucasus within the territory of Azerbaijan

It should be noted that the nival-subnival landscapes are distinguished by their ecological stability in the region. Of course, this is due to the difficult appropriation of the area. This includes erosion, denudation, high-intensity, mixed-rocky mountains. Nival-glacial and erosion-glacial mountains are characteristic for this area and are covered by the Main Caucasus, Yan, Shahdagh ranges. As a result of intensive denudation processes, dissected rocks from rocky areas are collected into the slopes of the peaks, as well as in kars and cirques. In these zones, there are nival and subnival landscapes on the ancient glacier relief and relief. Almost, nival-subnival landscape has mainly developed in Akhvay, Seyidyurd, Chagil and other mountainous regions.

Intensive development areas of floodplain landscapes are mainly nival-subnival and mountain-lowland zones, where there are the most appropriate physical-geo-

graphical features for their formation. In nival-subnival and mountain-meadow landscapes, gravitational, infiltrational and glacial floodplains are mainly dominant, however, in mountain-forest landscape zone fluvial and gravitational-infiltrational floodplains are dominant [11]. In the large area within the altitude landscape zone, continental facies of the 4th century are widely spread and they (glaciers, alluvial-proluvials, alluvial-delluvial and other origin rocks) are involved as the main source of flood and erosion materials [12].

Mid-powerful floods has been happening for the last 15 years in which in the middle and low-mountains bushes, steppes, forest-steppes, and arid sparse forests are dominant, population settlement is dense, transport networks are growing rapidly, dryland farming spreads widely, in the areas where anthropogenic factors are strong. In the areas where intense flooding is repeated, forest cover is sparse, high inclination of the middle mountainous region (relatively low mountains), mainly due to the anthropogenic factor, rapid decomposition of forests, small mountain bushes is observed.

The landscape ecological assessment has been conducted taking into consideration the impact of the economic areas on the separate landscape types of the research area, appropriation degree of the area, and its durability degree against natural and anthropogenic factors. As you can see from Table 2, high mountain landscapes are considered unfit for farming. Mountain-meadow landscapes are used as grazing and grassland, and the degree of appropriation is seasonal. In mountain-forest landscapes, seliteb, seliteb-orchard plantations are widely spread and the degree of their appropriation has been highly appreciated.

Table 2

Ecological assessment of the landscape of the southern slope of the Greater Caucasus within the territory of Azerbaijan

No.	Landscape types	Area, km ²	With percent, %	Farm use	Appropriation degree	Ecological assessment of the landscape
1	High mountain landscapes with cold, humid climate	385,4	5,1	–	–	Crisis
2	Mountain-lowland landscapes with humid and mild-humid climate	1260,5	16,8	Grassland summer pastures	Seasonal	Critic
3	Mountain-forest landscapes with mild-humid climate	2466,2	32,9	Seliteb, seliteb-orchard plantations	Seasonal	Tense
4	Middle and low mountain landscape with mild-humid climate	123,3	1,6	Seliteb-orchard, vegetable sown areas	High	Satisfactory
5	Accumulative plains landscape with mild-humid climate	3253,2	43,6	Seliteb-orchard plantation	High	Convenient

In order to achieve the goal, we have used scientific works and obtained innovations of the scientists who researched in this field historically and we can come to such a conclusion that in the research area steppe and distance probe work were conducted before and the obtained data was studied with the interpolation method. At this time landscape ecological capacity was also taken into consideration [13].

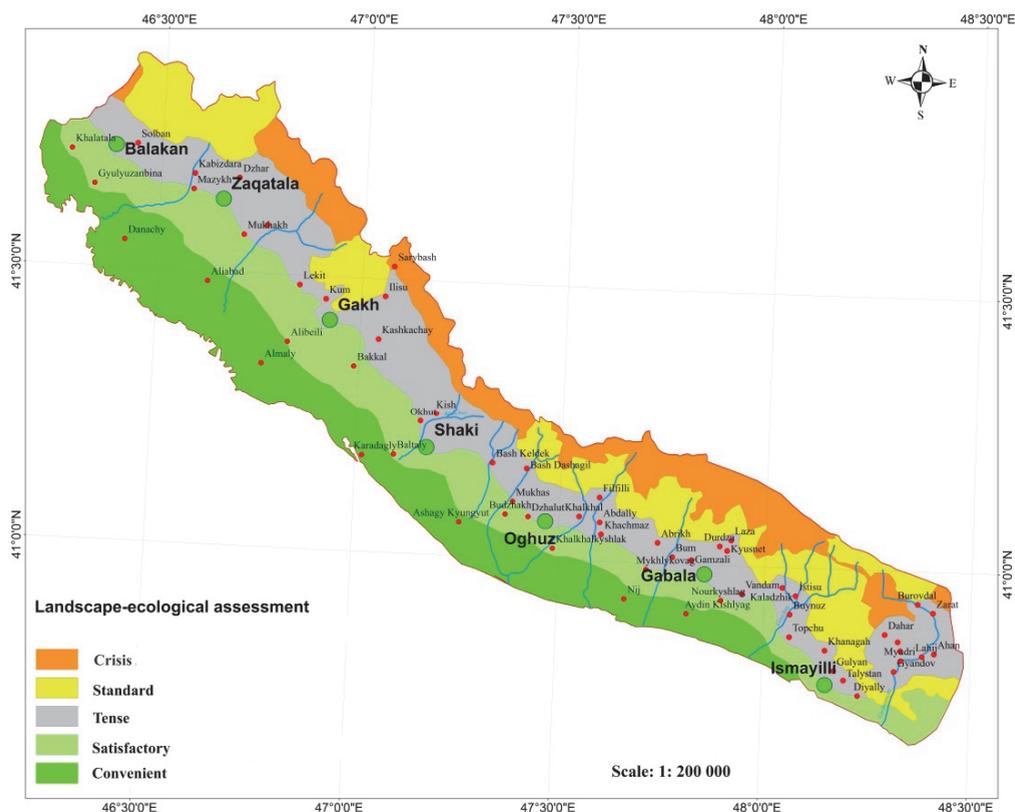


Figure 5. Landscape-ecological assessment map of the southern slope of the Greater Caucasus within the territory of Azerbaijan

Also, all obtained data was analyzed mutually and general results were prepared and the landscape-ecological assessment map of the research area was compiled by us (Figure 5). Thus, from landscape-ecological point of view, the southern slopes of the Greater Caucasus are divided into five groups: convenient, satisfactory, tense, crisis and standard.

Conclusion

Connected with the dynamics of population growth in Azerbaijan, global changes in climate, regular natural processes in relief, etc., there is always a change in the structure of the landscape. The self-development of the landscape is relatively slow. However, the mutual influence of external factors and internal processes accelerates the process of its formation, and thus, one landscape type is replaced by another one with certain changes.

The upper border of the forest areas on the southern slope of the Greater Caucasus is regularly exposed to anthropogenic impacts. That is, as a result of anthropogenic impact of the forest strip, the boundaries of the forests in the study area have gone down several hundred meters and are currently on the average 1800–2000 m above the sea level. Anthropogenic impacts, along with its transformations created at the lower and upper boundaries of the forest, also change the species of the forest content.

Subnival landscapes of the high mountain in the southern slopes of the Greater Caucasus, which are distinguished by their intensive fragmented relief, lead to the collection of a large number of detrital materials on mountain slopes, floodplains as relief formation factor. The Jurassic clay shists, which can be easily weathered in the mountainous areas, collected in floodplains as detrital materials, and it creates a condition for destructive flood accidents in those areas.

The activity of the floodplains, which play a special role in the differentiation of landscape, is related to the composition of the rocks in the basins. The frequency of formation and repetition of the floods in the research area depends on the landscape zone. The power source of the floods consists of the landslide and landslide masses on the sandy-clay rocks of the paleogene-neogene. The dynamic development of the floodplain in the river basins, where the Jurassic clay shists are widespread, accelerates the denudation processes here.

References

- [1] Budagov BA, Mamedov RM, Alizadeh EK. Natural and man-made disasters in the territory of Azerbaijan. *News of the National Academy of Sciences of Azerbaijan. Series: Earth Sciences*. 2008;(1):121–133. (In Russ.)
Будагов Б.А., Мамедов Р.М., Ализаде Э.К. Природные и техногенные катастрофы на территории Азербайджана // Известия Национальной академии наук Азербайджана. Серия: Науки о Земле. 2008. № 1. С. 121–133.
- [2] Budagov BA. Constructive proposals for the Kishchay and its flood. *The achievements of geography science* (vol. 1). Baku: Nafta-Press; 2007. p. 218–226. (In Azerbaijan.)
- [3] Budagov BA. *Sovremennye estestvennye landshafty Azerbaidzhankoi SSR [Modern natural landscapes of the Azerbaijan SSR]*. Baku: Elm Publ.; 1988. (In Russ.)
Будагов Б.А. Современные естественные ландшафты Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1988. 134 с.
- [4] Alizadeh EK, Guliyeva SYu, Kuchinskaya IYa, Tarikhazer SA. Landscape-ecogeomorphological problems of assessing the geodynamic intensity of mountain systems. *Proceedings of the Geo-Regional Society of Azerbaijan*. 2013;XVIII:36–43. (In Russ.)
Ализаде Э.К., Гулиева С.Ю., Кучинская И.Я., Тарихазер С.А. Ландшафтно-экогеоморфологические проблемы оценки геодинамической напряженности горных систем // Труды Георегионального общества Азербайджана. 2013. Т. XVIII. С. 36–43.
- [5] *The geography of the Republic of Azerbaijan* (vol. 1). Baku: Avropa Publ.; 2014. (In Azerbaijan.)
- [6] Mammadova CS. Transformation of landscapes in the floodplain (in the example of southern slope of the Greater Caucasus). *Geography and natural resources*. 2016;(1): 38–43. (In Azerbaijan.)
- [7] Mardanov IE. Classification of the formation factors of flood (on the example of the southern slope of the Main Caucasus Range). *News of the Academy of Sciences of Azerbaijan. Series: Earth Sciences*. 1969:118–123. (In Russ.)
Марданов И.Э. Классификация факторов формирования паводка (на примере южного склона Главного Кавказского хребта) // Известия Академии наук Азербайджанской ССР. Серия: Науки о Земле. 1969. С. 11–23.
- [8] Suleymanov MA. *Geographical regularity of natural and anthropogenic landscapes of Azerbaijan*. Baku: Abilov, Zeynalov and sons; 2005. (In Azerbaijan.)
- [9] Mammadov RM, Ismailov MC. Evaluation of natural potential of landscapes in Azerbaijan and its effective utilization. *Evaluation of natural resource potential of geosystems and its efficient use in the context of global climate change*. 2013;XVIII:10–20. (In Azerbaijan.)

- [10] Mammadova CS. Landscape characteristics and mapping methods on the southern slope of the Greater Caucasus. *Pedagogical University News*. 2015;(2):73–77. (In Azerbaijan.)
- [11] Mamedalizade MO. *Study of the landscapes of the basins of the selenos rivers of the southern slope of the Greater Caucasus (between the Mukhakhchaya and Filfilichaya rivers) using aerial photographic materials* (Dissertation of the Candidate of Geographical Sciences). Baku; 1986. (In Russ.)
Мамедализаде М.О. Изучение ландшафтов бассейнов селеносных рек южного склона Большого Кавказа (междуречье Мухахчая и Фильфиличая) с использованием материалов аэрофотоснимков: дис. ... канд. геогр. наук. Баку, 1986. 169 с.
- [12] Ismayilov MC, Mammadbeyov ES, Yunusov MI. Large intermorphostructural transboundary areas and their ecological potential. *Works of the Azerbaijan Geographical Society*. 2008;XII:90–96. (In Azerbaijan.)
- [13] Mammadbeyov ESh, Yunusov MI, Gurbanov TR. Influence of anthropogenic change of natural landscapes of the North-East slopes of the Greater Caucasus on ecological diversity. *Works of the Azerbaijan Geographical Society*. 2007;XI:45–54. (In Azerbaijan.)

Article history:

Received: 15.03.2020

Revised: 24.04.2020

For citation:

Mammadova JS. Factors influencing to formation of geosystems of southern slope of the Greater Caucasus in the Republic of Azerbaijan and assessment of landscape-environmental capacity. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):237–251. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-237-251>

Bio note:

Jahan Siradj Mammadova, PhD in Geography, senior lecturer of the Department of General Geography of the Azerbaijan State Pedagogical University. E-mail: sirac.memmedov54@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-237-251

Научная статья

Факторы, влияющие на формирование геосистем южного склона Большого Кавказа в пределах Азербайджанской Республики, и оценка ландшафтно-экологического потенциала

Д.С. Мамедова

*Азербайджанский государственный педагогический университет,
Азербайджанская Республика, AZ1000, Баку, ул. У. Гаджибекова, д. 68*

✉ sirac.memmedov54@mail.ru

Аннотация. Азербайджанская часть Большого Кавказа состоит из горных хребтов и впадин и наклонных равнин. Различные типы рельефных форм и ландшафтов Большого Кавказа сформировались в результате повторения эндогенных и экзогенных процессов, возникших в ходе взаимного воздействия внутренних и внешних сил на ре-

льеф. Впервые изучены факторы, влияющие на геосистемы южного склона Большого Кавказа. Проведена оценка ландшафтно-экологического потенциала района с использованием подходящих, удовлетворительных, напряженных, кризисно-критических и стандартных критериев, на ее основе составлена ландшафтная карта. Используются материалы степной экспедиции, ландшафтно-геоморфологические, исторические, сравнительные, математически-статистические, картографические методы. Определена устойчивость природных ландшафтов к антропогенным воздействиям.

Ключевые слова: Азербайджан, Большой Кавказ, горные геосистемы, экологический потенциал, экологическая оценка, ландшафтно-экологическая оценка, селевой поток, оползень

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 18.03.2020

Дата принятия к печати: 24.04.2020

Для цитирования:

Mammadova J.S. Factors influencing to formation of geosystems of southern slope of the Greater Caucasus in the Republic of Azerbaijan and assessment of landscape-environmental capacity // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 237–251. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-237-251>

Сведения об авторе:

Мамедова Джахан Сирадж, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры общей географии Азербайджанского государственного педагогического университета. E-mail: sirac.memmedov54@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-252-262

УДК 504.53:581.5(045)

Научная статья

Загрязнение атмосферы Иркутской области в результате природных пожаров и оценка риска здоровью населения

Т.В. Ващалова¹✉, В.В. Гармышев²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

²Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83

✉ VTV_53@mail.ru

Аннотация. Загрязнение веществами, поступающими в атмосферу в результате природных пожаров, достоверно влияет на уровень заболеваемости населения Иркутской области. Разработка мер по его снижению требует оценки уровня риска и анализа пространственных различий состава и количества основных эмитентов. Исследование основано на статистическом материале о природных пожарах в области в 2014–2019 гг. Выполнен сравнительный анализ состава и массы веществ от природных пожаров на землях трех категорий: земли лесного фонда; селитебные, пригородные, рекреационные земли; торф и торфопочвы. По весу и составу поллютантов наиболее опасными для здоровья представляются торфяные пожары. Уровень риска здоровью в результате природных пожаров варьирует по районам области в пределах двух порядков. На него влияют: доля площади задымления от общей площади района; неравномерность распределения населения в пределах района; малонаселенность и труднодоступность; экономическая специализация и другие.

Ключевые слова: природные пожары, загрязнение атмосферы, заболеваемость, риск, Иркутская область

Введение

Природные (особенно лесные) пожары наряду с техносферным выбросами – наиболее значимые источники загрязнения атмосферы на региональном и локальном уровнях. Одним из их важных негативных воздействий является ухудшение самочувствия, рост острой и хронической заболеваемости населения – прежде всего органов дыхания.

Иркутская область – один из самых богатых лесом регионов России. По данным государственного лесного реестра на 1 января 2018 г., лесопокрытые земли занимали 82,6 % территории области. Здесь сосредоточена

восьмая часть запасов российской древесины. А доля особо ценных хвойных пород (наиболее горимых) значительна даже в масштабах планеты [1].

Иркутская область – крупный промышленный регион, в котором представлены все основные отрасли, дающие высокую техногенную нагрузку на атмосферу. Лесная и деревообрабатывающая промышленность относится к ведущим, что определяет большой объем лесозаготовок и первичной обработки в разных районах области. На территориях Иркутского, Тайшетского, Усольского и Ангарского районов распространены торфяники, частично разрабатываемые.

Поскольку среди причин лесных пожаров лидирует неосторожное обращение людей с огнем (60 % в среднем за 2014–2019 гг.), важно отметить, что доступность лесных массивов достаточно высока как для заготовителей, так и для населения в целом. Для области характерны также природные пожары из-за грозных разрядов (в среднем 29 %), что является основной причиной масштабных выгораний леса в труднодоступных и необеспеченных наземной охраной территориях.

С каждым годом все большую тревогу вызывает увеличение площадей горения горючих растительных материалов (ГРМ) в селитебной, ландшафтно-рекреационной, лесопарковой зонах населенных пунктов. Площадь последних составляет 12 % от общей территории региона, и ежегодно на 10–15 дней она погружается в дым [1; 2].

Условиями, оказывающими прямое или опосредованное влияние на количество и площади природных пожаров, могут быть: а) плотность населения; б) величина лесопокрытой площади; в) характер ведущей отрасли хозяйства района; г) характер и плотность транспортной инфраструктуры; д) окраинно-периферийное положение района; е) рекреационная нагрузка.

По данным областного комитета по статистике, на протяжении ряда лет в период лесных пожаров в области наблюдались достоверные признаки ухудшения здоровья людей, находившихся в задымленной зоне. Это демонстрирует прирост значений следующих показателей: число обращений за медицинской помощью в связи с заболеваниями органов дыхания – на 6,5 %; число обострений хронических бронхитов – на 4,2 % и бронхиальной астмы – на 5,2 %. Ранее было показано [3], что риск столкнуться с природным пожаром на территории Иркутской области существует для 6 из каждых 10 000 человек населения.

Сказанное свидетельствует об актуальности проблемы загрязнения атмосферы в результате природных пожаров, ее сезонного и отсроченного негативного влияния на здоровье населения Иркутской области. Одним из необходимых условий разработки мер по снижению этого влияния является оценка риска заболеваемости по данной причине по районам области, чему и посвящена настоящая статья.

Материалы и методы

Оценка величины залповых выбросов токсичных продуктов горения и площади задымления выполняется на основе информации о площади выгорания, массе сгоревших материалов [1; 2] и удельном значении эмиссии ими различных веществ и соединений.

Масса сгоревшего материала и свойственная ему эмиссия поллютантов изучались для трех различных категорий земель: 1) земли лесного фонда – лесные и нелесные; 2) земли селитебные, пригородные, рекреационные и т. п.; 3) торф и торфопочвы на землях разных категорий. Далее растительный материал, сгоревший на землях двух первых категорий, сокращенно обозначается «ГРМ» – горючий растительный материал. Он включает древесной, кустарники, опад, травы, мхи и лишайники, валежник и т. п.

Оценка риска заболеваемости дается на основе информации о плотности населения в зоне воздействия пожара (по материалам областного комитета по статистике). Все исходные расчетные данные осреднены за период 2014–2019 гг.

Многолетние натурные исследования последствий природных пожаров [3; 4] позволили апробировать и подтвердить достоверность оценок массы различных сгоревших ГРМ и торфа по следующим формулам.

Для деревьев и других ГРМ на землях лесного фонда:

$$m^D = \frac{1}{3} s^П \cdot a^D \cdot \kappa_H, \quad (1)$$

$$m^{ГРМ} = (s^П - s^D) \cdot a^{ГРМ} \cdot \kappa_H, \quad (2)$$

где $s^П$ – площадь, пройденная пожаром, га; s^D – площадь, занимаемая деревьями, га; a^D , $a^{ГРМ}$ – масса древесины и ГРМ, сосредоточенная на единице лесной территории, т/га; κ_H – коэффициент недожога.

Для ГРМ, сгоревших на землях непокрытых лесом в пределах земель лесного фонда, на нелесных землях (в том числе – лесостепных), а также в селитебной, рекреационной, лесопарковой, пригородной зонах городов, населенных пунктов:

$$m^{ГРМ} = s^П \cdot a^{ГРМ} \cdot \kappa_H, \quad (3)$$

где $a^{ГРМ}$ – масса ГРМ, сосредоточенная на единице площади подобных территорий, т/га.

Для сгоревшего торфа и торфопочв:

$$m^T = s^П \cdot \rho_T \cdot h_{\text{прог}} \cdot \kappa_H \cdot 10^4, \quad (4)$$

где ρ_T – плотность торфа, т/м³; $h_{\text{прог}}$ – глубина прогорания торфа, м; 10^4 – коэффициент перевода из м² в га.

Усредненная масса для древесины на лесных территориях составляет 20 т/га, для иных ГРМ – 2,5 т/га, а для ГРМ на землях, непокрытых лесом, нелесных (в том числе лесостепных), а также в ландшафтно-рекреационной и пригородной зонах городов и населенных пунктов усредненная масса составляет 0,8 т/га, глубина прогорания торфопочв – 0,25 м, торфяных залежей – 1,5 м (в местах торфоразработок).

При лесных пожарах, как правило, выгорает 1/3 массы древостоя (крона, кора, стволы деревьев). Коэффициент недожога принимается для деревьев равным 0,7; для торфа – 0,5; для иных ГРМ на всех типах территорий – 0,9.

Продукты химических преобразований групп органических веществ, входящих в состав древостоя и иных ГРМ, при горении, тлении и других термических воздействиях в целом известны. На протяжении последних де-

сятилетий неоднократно проводились прямые замеры эмиссии разных веществ при природных пожарах (как на земле, так и в воздухе), а также лабораторные эксперименты. Были разработаны методики определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров, в том числе нормативные документы [5–10].

В настоящей работе использованы усредненные данные удельной эмиссии токсикантов, образующихся при пожарах на обозначенных выше типах территорий. Величина коэффициента дымообразования определена экспериментально [4]. Авторы осознают, что состав продуктов горения значительно шире [8], однако не по всем пока имеются количественные характеристики эмиссии. Тем не менее сделанная ниже оценка риска здоровью представляется объективной, поскольку в нее вошли вещества, составляющие основной объем загрязнения атмосферы при природных пожарах.

Оценка площади загрязнения в результате природного пожара и расчет риска заболеваемости при нарушении условий жизнедеятельности окрестного населения выполнены (по методу, апробированному в работе [10]) с использованием следующих формул:

$$S_{\text{загр}} = S_{\text{п}} \cdot 10, \quad (5)$$

$$R = S_{\text{загр}} \cdot 0,9 \cdot \text{Пл}_{\text{нас}}, \quad (6)$$

где $S_{\text{загр}}$ – площадь загрязнения в га; $S_{\text{п}}$ – выгоревшая площадь, га; R – риск заболеваемости в условиях нарушения условий жизнедеятельности; $\text{Пл}_{\text{нас}}$ – плотность населения, чел./км².

Результаты и обсуждение

Обобщение данных удельной эмиссии различных веществ при горении ГРМ разных категорий показало следующее.

Из более чем сорока эмитентов в количествах, превышающих 1 кг на тонну сгоревшего материала, во всех категориях ГРМ выбрасывается около десяти. К ним относятся окислы углерода (СО и СО₂) и кремния (дым), метан, метанол, метил хлорид, твердые аэрозоли (в том числе сажа), ацетон, уксусная кислота, алкены (по С₅Н₁₀). Остальные представлены почти исключительно различными ароматическими углеводородами (преимущественно полициклическими) а также алканами.

В величинах эмиссии ведущей группы загрязнителей наблюдаются различия, подчас весьма ощутимые, между тремя изученными категориями земель. Так, в пригородной, селитебной, ландшафтно-рекреационной, лесопарковой зонах и зонах населенных пунктов, в отличие от земель лесного фонда, не отмечено значимых выбросов метана и метанола, твердые аэрозоли присутствуют в следовых количествах, в 5 раз больше оксида углерода и в 2 раза меньше метил хлорида (табл. 1).

Удельная эмиссия лидирующей группы веществ, образующихся при сгорании торфа и торфопочв, по номенклатуре во многом совпадает с таковой двух других категорий земель, но имеет существенные различия по весу для некоторых соединений. Прежде все это касается окислов углерода, доля которых в общей сумме выбросов изменяется от 30 % в лесах, до 50 % в

пригородной зоне и 80 % при горении торфа. При этом эмиссия диоксида углерода возрастает на порядок, а оксида – на два при переходе от первой категории земель к третьей. Содержание уксусной кислоты уменьшается вдвое, а дыма – возрастает на 60 %. Снижается на порядок эмиссия ацетона и метил хлорида, но в той же пропорции возрастают выбросы акролеина. При горении торфа в атмосферу поступают различные ароматические углеводороды в количествах первые килограммы на тонну сгоревшего материала, которые незначительно представлены среди поллютантов ГРМ иных типов территорий.

Выполненные расчеты показали, что риск заболеваний (средний за период 2014–2019 гг.), связанных с негативными эффектами задымления атмосферы в результате природных пожаров по районам области изменяется в пределах двух порядков: от $1 \cdot 10^{-3}$ в Нукутском районе до $2,4 \cdot 10^{-1}$ в Ангарском районе (табл. 2).

В группе с минимальным значением уровня риска ($n \cdot 10^{-3}$) его абсолютные значения различаются почти на порядок: по сравнению с Нукутским ($1 \cdot 10^{-3}$) – в Усть-Илимском – $9,3 \cdot 10^{-3}$, в Братском – $9,2 \cdot 10^{-3}$. Аналогичная картина в промежуточной ($n \cdot 10^{-2}$), наиболее представительной группе: от $1,2 \cdot 10^{-2}$ в Куйтунском районе до $9,7 \cdot 10^{-2}$ в Катангском районе. Среди наиболее неблагополучных также Заларинский, Казачинско-Ленский и Нижне-Илимский районы. В группе максимального риска ($n \cdot 10^{-1}$) по сравнению с лидером, Ангарским районом, уровень риска в остальных районах группы снижается в 1,5–2 раза.

Таблица 1

Эмиссия токсичных продуктов при сгорании различных природных материалов

Вещество	Вид сгоревших природных материалов, кг/т		
	Деревья, ГРМ на землях лесного фонда	ГРМ в сельтебной ландшафтно-рекреационной лесопарковой, пригородной зонах населенных пунктов	Торф и торфопочвы на землях разных категорий
Диоксид углерода	90	90	810
Оксид углерода	1,8	9,45	171
Оксид кремния	33,8	33,8	54
Оксид азота	<1	<1	1,13
Твердые аэрозоли	14	<1	10,8
Метан	72	–	72
Уксусная кислота	31,5	31,5	18
Ацетон	19,8	19,8	1,35
Алкены (по C_5H_8)	12,2	12,2	10,8
Метанол	9,45	–	1,35
Метил хлорид	2,21	1,17	<1
Акролеин	<1	<1	4,95
Озон	<1	<1	1,26
Цианистый водород	–	–	1,49
Нафталин	–	–	2,52
Акрилонитрил	–	–	2,97
Ацетонитрил	–	–	1,49
Этилен	–	–	13,5
Другие ароматические углеводороды	–	–	30,5

Table 1

Toxic products emission during combustion of various natural materials

Substance	Type of burnt natural materials, kg/t		
	<i>Trees, combustible plant material on the lands of forest fund</i>	<i>Combustible plant material in residential, recreational, and suburban areas of localities</i>	<i>Peat and peat soils on different types of land</i>
Carbon dioxide	90	90	810
Carbon oxide	1.8	9.45	171
Silicon oxide	33.8	33.8	54
Nitrogen oxide	<1	<1	1.13
Solid aerosols	14	<1	10.8
Methane	72	–	72
Acetic acid	31.5	31.5	18
Acetone	19.8	19.8	1.35
Alkenes (on C ₅ H ₅)	12.2	12.2	10.8
Methanol	9.45	–	1.35
Methyl chloride	2.21	1.17	<1
Akrolein	<1	<1	4.95
Ozone	<1	<1	1.26
Hydrogen cyanide	–	–	1.49
Naphthalene	–	–	2.52
Acrylonitrile	–	–	2.97
Acetonitrile	–	–	1.49
Ethylene	–	–	13.5
Other aromatic hydrocarbons	–	–	30.5

Таблица 2

Характеристика районов Иркутской области по условиям возникновения и уровню риска заболеваемости в результате природных пожаров

Районы	Площадь района, км ²	Площадь природных пожаров, км ²	Задымление территории района, %	Плотность населения, чел./км ²	Риск заболевания, чел.
Аларский	2651	10,4	3,9	7,74	3,5·10 ⁻²
Ангарский	1150	31,6	27,4	207,4	2,4·10 ⁻¹
Балаганский	6347	9,8	1,5	1,36	1,3·10 ⁻²
Баяндаевский	3756	13,3	3,5	2,93	3,1·10 ⁻²
Бодайбинский	91 987	56,2	0,6	0,21	5,4·10 ⁻³
Боханский	3668	41,8	11,4	6,79	1·10 ⁻¹
Братский	33 024	184,9	5,5	1,58	9,2·10 ⁻³
Жигаловский	22 822	101,3	11,9	0,37	2,5·10 ⁻²
Заларинский	7617	65,6	8,6	3,67	7,7·10 ⁻²
Зиминский	7019	14,3	2	1,88	2,9·10 ⁻³
Иркутский	11 672	135,6	11,4	10,22	1,6·10 ⁻²
Казачинско-Ленский	33 276	276	7,1	0,51	6,3·10 ⁻²
Катангский	139 264	1965,1	14,3	0,02	9,7·10 ⁻²
Качугский	31 395	397,2	12,6	0,54	1,1·10 ⁻²
Киренский	43 905	108,7	2,6	0,41	2,2·10 ⁻²
Куйтунский	11 147	68,5	6,1	2,56	1,2·10 ⁻²
Мамско-Чуйский	43 362	21,4	0,5	0,09	4,2·10 ⁻³
Нижнеилимский	36 823	226,3	11,9	1,33	5,5·10 ⁻²

Окончание табл. 2

Районы	Площадь района, км ²	Площадь природных пожаров, км ²	Задымление территории района, %	Плотность населения, чел./км ²	Риск заболевания, чел.
Нижнеудинский	49 977	80	1,6	1,28	1,4·10 ⁻²
Нукутский	2473	2,7	1,1	6,35	1,0·10 ⁻³
Ольхонский	13651	65,4	4,8	0,71	4,3·10 ⁻²
Осинский	1542	49,7	11,3	4,83	4,5·10 ⁻²
Слюдянский	6301	5,9	0,9	6,26	8,4·10 ⁻³
Тайшетский	27 725	119,5	4,3	2,68	3,8·10 ⁻²
Тулунский	13 561	80,3	5,9	1,88	2,0·10 ⁻²
Усольский	6261	76,3	12	8,08	4,3·10 ⁻²
Усть-Илимский	36 596	242,8	6,6	0,42	9,3·10 ⁻³
Усть-Кутский	34 599	536,7	15,5	1,44	1,3·10 ⁻¹
Усть-Удинский	8281	145,9	7,2	1,64	1,5·10 ⁻¹
Чунский	25 757	127,7	4,9	1,29	4,4·10 ⁻²
Черемховский	9887	28,1	2,8	2,9	7,8·10 ⁻³
Шелеховский	1969	6,9	3,4	33,22	3,1·10 ⁻²
Эхирит-Булагатский	5153	13,9	2,7	5,73	2,4·10 ⁻²

Table 2

**The occurrence conditions and the disease risk level as a result of natural fires.
Characteristics of the Irkutsk region districts**

Districts	Area of the district, km ²	Area of natural fires, km ²	Smoke in the district, %	Population density, person/km ²	Risk of disease, person
Alarskii	2651	10.4	3.9	7.74	3.5·10 ⁻²
Angarskii	1150	31.6	27.4	207.4	2.4·10 ⁻¹
Balaganskii	6347	9.8	1.5	1.36	1.3·10 ⁻²
Bayandaevskii	3756	13.3	3.5	2.93	3.1·10 ⁻²
Bodaibinskii	91 987	56.2	0.6	0.21	5.4·10 ⁻³
Bokhanskii	3668	41.8	11.4	6.79	1·10 ⁻¹
Bratskii	33 024	184.9	5.5	1.58	9.2·10 ⁻³
Zhigalovskii	22 822	101.3	11.9	0.37	2.5·10 ⁻²
Zalarinskii	7617	65.6	8.6	3.67	7.7·10 ⁻²
Ziminskii	7019	14.3	2	1.88	2.9·10 ⁻³
Irkutskii	11 672	135.6	11.4	10.22	1.6·10 ⁻²
Kazachinsko-Lenskii	33 276	276	7.1	0.51	6.3·10 ⁻²
Katangskii	139 264	1965.1	14.3	0.02	9.7·10 ⁻²
Kachugskii	31 395	397.2	12.6	0.54	1.1·10 ⁻²
Kirenskii	43 905	108.7	2.6	0.41	2.2·10 ⁻²
Kuitunskii	11 147	68.5	6.1	2.56	1.2·10 ⁻²
Mamsko-Chuiskii	43 362	21.4	0.5	0.09	4.2·10 ⁻³
Nizhneilimskii	36 823	226.3	11.9	1.33	5.5·10 ⁻²
Nizhneudinskii	49 977	80	1.6	1.28	1.4·10 ⁻²
Nukutskii	2473	2.7	1.1	6.35	1.0·10 ⁻³
Ol'khonskii	13 651	65.4	4.8	0.71	4.3·10 ⁻²
Osinskii	1542	49.7	11.3	4.83	4.5·10 ⁻²
Slyudyanskii	6301	5.9	0.9	6.26	8.4·10 ⁻³
Taishetskii	27 725	119.5	4.3	2.68	3.8·10 ⁻²
Tulunskii	13 561	80.3	5.9	1.88	2.0·10 ⁻²

Table 2, ending

Districts	Area of the district, km ²	Area of natural fires, km ²	Smoke in the district, %	Population density, person/km ²	Risk of disease, person
Usol'skii	6261	76.3	12	8.08	$4.3 \cdot 10^{-2}$
Ust'-Ilimskii	36 596	242.8	6.6	0.42	$9.3 \cdot 10^{-3}$
Ust'-Kutskii	34 599	536.7	15.5	1.44	$1.3 \cdot 10^{-1}$
Ust'-Udinskii	8281	145.9	7.2	1.64	$1.5 \cdot 10^{-1}$
Chunskii	25 757	127.7	4.9	1.29	$4.4 \cdot 10^{-2}$
Cheremkhovskii	9887	28.1	2.8	2.9	$7.8 \cdot 10^{-3}$
Shelekhovskii	1969	6.9	3.4	33.22	$3.1 \cdot 10^{-2}$
Ekhkhirit-Bulagatskii	5153	13.9	2.7	5.73	$2.4 \cdot 10^{-2}$

На величину уровня риска по условиям расчета очевидным образом влияет площадь пожара ($r = 0,77$) и плотность населения ($r = 0,66$). Еще более тесная связь с той долей, которую площадь задымления составляет от общей площади района ($r = 0,81$). Этот фактор особенно сказывается в административных единицах малой площади, таких как, например, Ангарский и Боханский районы.

Для массива данных, охватывающих все районы области, кроме Иркутского, Ангарского и Шелеховского (наиболее плотно заселенных), отмечается слабая ($r = -0,35$) обратная корреляционная связь между плотностью населения и площадью пожаров. Это может означать, что большие площади выгорания в определенной степени связаны с поздним обнаружением пожара и/или сложностями в его ликвидации в малонаселенных труднодоступных районах, например в Катангском, расположенном на крайнем севере области, к тому же и самым большим по площади.

Сравнительно высокий уровень риска в районах невысокой средней плотности населения и аналогичных средних площадей выгорания может объясняться высокой концентрацией населения в одном-двух городах или поселках (например, в Качугском, Усть-Кутском, Усть-Удинском и некоторых других районах). Среди множества районов в средней по уровню риска группе есть преимущественно сельскохозяйственные средне населенные районы (Аларский, Баяндаевский, Осинский, Эхирит-Булагатский, Усольский, Куйтунский) и плотно населенные промышленные (Иркутский, Шелеховский). В группе с высоким уровнем риска четыре района (Ангарский, Боханский, Усть-Кутский, Усть-Удинский), существенно различающихся по ряду характеристик, создающих, по-видимому, в каждом случае свои уникальные для этого показателя сочетания.

Заключение

Загрязнение атмосферы продуктами, образующимися в результате природных пожаров, оказывает ощутимое влияние на здоровье в среднем около 10 % населения области.

Особое значение для роста респираторной заболеваемости (в силу своего обилия) имеют окислы углерода. Их доля возрастает от 30 до 80 % при переходе от горения лесного древостоя к торфу и торфопочвам. В последнем случае отмечается заметный выброс ПАУ, что позволяет считать торфяные пожары наиболее опасными для здоровья.

Районы Иркутской области весьма существенно различаются по ряду характеристик, прямо или косвенно влияющих на подверженность среды обитания людей воздействиям природных пожаров. Наиболее значимы среди них размеры и распределение в пространстве района площадей выгорания и плотности населения.

Для наименьших по площади районов, имеющих, как правило, высокую или очень высокую (для этого субъекта РФ) плотность населения, определяющую роль будет играть доля задымленной территории по отношению ко всей площади района.

Для районов со средней плотностью населения и площадью пожаров актуальна степень концентрации первого в одном-двух муниципальных образованиях. Это значимо также и для крупных районов с минимальной средней плотностью населения. На рост риска заболеваемости в последних через площадь выгорания влияет их богатство лесными ресурсами при ограниченных (в силу труднодоступности) возможностях выявления и подавления пожаров.

Влияние таких факторов, как хозяйственная специализация района, плотность, характер транспортной инфраструктуры и рекреационная нагрузка, могут быть предметом дальнейшего изучения.

Благодарности и финансирование. Работа выполнена на географического факультета МГУ по теме 1.7 АААА-А16-116032810093-2 (ГЗ) и в Иркутском национальном техническом университете по заданию № 66-37-2336/15.

Список литературы

- [1] Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Иркутской области в 2018 г.». Иркутск: Мегапринт, 2019. 307 с.
- [2] Лесные, торфяные пожары на территории земель лесного фонда за 2014–2019 гг. по лесничествам Иркутской области / Министерство лесного комплекса Иркутской области. Иркутск, 2019. 7 с.
- [3] *Гармышев В.В., Тимофеева С.С., Дубровин Д.В.* Загрязнение атмосферы Прибайкалья в результате горения лесных горючих материалов // Вестник ИРГСХА. 2018. № 86. С. 71–78.
- [4] *Дубровин Д.В., Гармышев В.В., Тимофеева С.С.* Загрязнение атмосферы в результате горения лесных горючих материалов в селитебной, ландшафтно-рекреационной, пригородной зонах городов и населенных пунктов Иркутской области // XXI век. Техносферная безопасность. 2018. Т. 3. № 2(10). С. 35–43.
- [5] *Тимофеева С.С., Гармышев В.В., Зырянов В.С.* Оценка экологической нагрузки на атмосферу при лесных пожарах в Иркутской области // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 10. С. 33–38.
- [6] *Болтнева Л.И., Быстрова В.И.* Региональные особенности лесных пожаров России и возможные экологические последствия // Использование и охрана лесных ресурсов в России. 2012. № 3. С. 15–25.
- [7] *Коган Р.М.* Пожарная эмиссия поллютантов на юге Дальнего Востока России // Региональные проблемы. 2013. Т. 16. № 1. С. 72–78.
- [8] Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров. М.: ГК РФ по охране окружающей среды, 1997. 26 с.
- [9] ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура и методы их определения. М.: Стандартинформ, 2006. 99 с.
- [10] *Соловьев С.В.* Экологические последствия лесных и торфяных пожаров: дис. ... к. т. н. М.: РГБ, 2006. 225 с. URL: <http://diss/rsl/ru/diss06/0455/060455032.pdf> (дата обращения: 15.04.2019).

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 23.05.2020

Дата принятия к печати: 14.06.2020

Для цитирования:

Вацалова Т.В., Гармышев В.В. Загрязнение атмосферы Иркутской области в результате природных пожаров и оценка риска здоровью населения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 252–262. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-252-262>

Сведения об авторах:

Вацалова Татьяна Владимировна, кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5740-0959>, eLIBRARY SPIN-код: 9840-3522. E-mail: VTV_53@mail.ru

Гармышев Владимир Викторович, кандидат технических наук, докторант кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Иркутского национального исследовательского технического университета. eLIBRARY SPIN-код: 9577-9080. E-mail: diamant1959@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-252-262

Scientific article

Atmospheric pollution of the Irkutsk region as a result of natural fires and public health risk assessment

Tatiana V. Vashchalova¹✉, Vladimir V. Garmyshev²

¹*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation*

²*Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontova St, Irkutsk, 664074, Russian Federation*

✉ VTV_53@mail.ru

Abstract. Pollution of substances entering the atmosphere as a result of natural fires significantly affects the morbidity level of the Irkutsk region population. The development of measures to reduce it requires an assessment of the risk level and analysis of spatial differences in the composition and number of major issuers. The study is based on statistical data on natural fires in the region in 2014–2019. The comparative analysis of the composition and mass of substances from natural fires on three categories of land have done. These are: forest lands; residential, suburban, recreational lands; peat and peat soils. Peat fires are the most dangerous for health according to the weight and composition of pollutants. The level of health risk as a result of natural fires varies by region within two orders of magnitude. It is affected by the proportion of the area of smoke from the total area of the district, nonuniform distribution of the population within the district, sparsely populated and difficult to access, economic specialization, and others.

Keywords: natural fires, atmospheric pollution, morbidity, risk, Irkutsk region

Acknowledgements and Funding. The work was carried out within the framework of the theme of state task No. 1.7 AAAA-A16-116032810093-2 (Geographical faculty of the Lomonosov Moscow State University) and by order No. 66-37-2336/15 (Irkutsk National Research Technical University).

References

- [1] *Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy Irkutskoi oblasti v 2018 g."* [State Report "On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2018"]. Irkutsk: Megaprint; 2019. 2019 (In Russ.)
- [2] Ministry of Forestry of the Irkutsk region. *Lesnye, torfyanye pozhary na territorii zemel' lesnogo fonda za 2014–2019 gg. po lesnichestvam Irkutskoi oblasti* [Forest and peat fires on the territory of the Forest Fund lands for 2014–2019 in the Irkutsk region]. Irkutsk; 2019. (In Russ.)
- [3] Garmyshev VV, Timofeeva SS, Dubrovin DV. The pollution of the Baikal region as a result of combustion of forest combustible materials. *Vestnik IrGSHA*. 2018;86:71–78. (In Russ.)
- [4] Dubrovin DV, Garmyshev VV, Timofeeva SS. Air pollution as a result of burning of forest combustible materials in residential, landscape and recreational, suburban areas of cities and settlements of the Irkutsk region. *XXI century. Technosphere safety*. 2018;3(2):35–43. (In Russ.)
- [5] Timofeeva SS, Garmyshev VV, Zyryanov VS. Assessment of the environmental load on the atmosphere during forest fires in the Irkutsk region. *Life safety*. 2013;10:33–38. (In Russ.)
- [6] Boltneva LI, Bystrova VI. Regional features of Russian forest fires and possible environmental consequences. *Use and protection of forest resources in Russia*. 2012;3:15–25. (In Russ.)
- [7] Kogan RM. Fire emission of pollutants in the South of the Russian Far East. *Regional problems*. 2013;16(1):72–78. (In Russ.)
- [8] *Metodika opredeleniya i rascheta vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ot lesnykh pozharov* [Methods for determining and calculating emissions of pollutants from forest fires]. Moscow: SC of the Russian Federation on environmental protection; 1997. (In Russ.)
- [9] GOST 12.1.044-89. *Pozharovzryvobezopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura i metody ikh opredeleniya* [Fire and explosion safety of substances and materials. Nomenclature and methods of their determination]. Moscow: Standardinform Publ.; 2006. (In Russ.)
- [10] Soloviev SV. *Ekologicheskie posledstviya lesnykh i torfyanykh pozharov* [Ecological consequences of forest and peat fires] (Dissertation of the Doctor of Technical Sciences). Moscow: Russian State Library; 2006. Available from: <http://diss/rsl/ru/diss06/0455/060455032.pdf> (accessed: 15.04.2019). (In Russ.)

Article history:

Received: 23.05.2020

Revised: 14.06.2020

For citation:

Vashchalova TV, Garmyshev VV. Atmospheric pollution of the Irkutsk region as a result of natural fires and public health risk assessment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):252–262. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-252-262>

Bio notes:

Tatiana V. Vashchalova, PhD in Geography, Associated Professor, senior researcher of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows of the Geographical Faculty of the Lomonosov Moscow State University. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5740-0959>, eLIBRARY SPIN-code: 9840-3522. E-mail: VTV_53@mail.ru

Vladimir V. Garmyshev, PhD in Engineering, doctoral student of the Department of Industrial Ecology and Life Safety of the Irkutsk National Research Technical University. eLIBRARY SPIN-code: 9577-9080. E-mail: diamant1959@mail.ru

ЭКОЛОГИЯ
ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-263-274

УДК 574:528.8

Научная статья

**Дистанционный мониторинг зеленых насаждений Уфы
за 1988–2018 годы****И.Р. Рахматуллина¹✉, З.З. Рахматуллин², А.Ю. Кулагин^{1,3}**¹*Башкирский государственный педагогический университет имени М. Акмуллы,
Российская Федерация, 450008, Уфа, ул. Октябрьской революции, д. 3а*²*Башкирский государственный аграрный университет,
Российская Федерация, 450001, Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34*³*Уфимский федеральный исследовательский центр РАН,
Российская Федерация, 450054, Уфа, пр-кт Октября, д. 69*

✉ rahmat_irina@mail.ru

Аннотация. Зеленые насаждения города – неотъемлемая часть его экологического каркаса. При планировании городского пространства необходимы сведения об их фактическом распределении, состоянии и динамики. Для этого целесообразно использовать спутниковые снимки. Цель работы – провести дистанционный мониторинг зеленых насаждений Уфы по космическим снимкам Landsat за последние 30 лет. Обработка снимков, включающая радиометрическую калибровку, уменьшение объема данных с шести каналов до трех основных компонентов, неуправляемая классификация снимков, группировка классов до пяти типов подстилающей поверхности (открытая почва, без растительности, травянистая растительность, древесно-кустарниковая растительность, под водой), построение матрицы изменений производились с помощью инструментов программного продукта SAGA GIS. В результате построена карта, показывающая пространственные изменения типа «древесно-кустарниковая растительность» за 30 лет. Участки, на которых этот тип сохранился, составляют 16 073 га, на которых сменился другим типом подстилающей поверхности – 3700 га. Участки, характеризовавшиеся в 1988 г. другими типами, а в 2018 г. перешедшие в тип «древесно-кустарниковая растительность», занимают 8665 га. Наблюдается положительная динамика сохранения и увеличения площади древесно-кустарниковых насаждений. Но это характерно не для всего городского округа, а преимущественно для лесов Уфимского городского лесничества, которые расположены в основном по окраине, вокруг центральной части города. Для «внутригородских» древесно-кустарниковых насаждений, не относящихся к лесному фонду и расположенных в застроенной части города, характерна устойчивая отрицательная динамика и смена другими типами подстилающей поверхности.

Ключевые слова: зеленые насаждения, древесно-кустарниковая растительность, космические снимки Landsat, типы подстилающей поверхности

© Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Кулагин А.Ю., 2020

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

Введение

Роль зеленых насаждений в выполнении экосистемных, средообразующих, барьерно-защитных, рекреационных функций, а также в существенном снижении техногенной городской нагрузки очевидна и неоспорима.

Зеленые насаждения Уфы – столицы Республики Башкортостан – важная часть экологического каркаса и неотъемлемая часть градостроительной структуры. Они представлены дикорастущими и искусственно посаженными деревьями и кустарниками, травяным слоем, газонами и цветами на всей территории городского округа, а также лесами городского округа, которые образуют зеленый фонд [1].

Распределение лесных насаждений на территории города Уфы неравномерное. В основном леса представлены небольшими и крупными массивами, которые расположены по окраинам города. Природные условия развития города на сравнительно узком водораздельном плато между р. Белой и р. Уфой обуславливают также особую противоэрозионную значимость этих лесов.

В центральной части города сосредоточены в основном парки, скверы, бульвары, внутриквартальные насаждения, представленные озеленением детских садов, школ, микрорайонов, культурно-бытовых учреждений и жилых территорий.

Изучению зеленых насаждений Уфы посвящено значительное число научных работ. В них дается эколого-биологическая характеристика флоры и растительности города, приводятся классификация эколого-ценотических групп видов и их структура [2], лесоводственно-таксационные показатели древостоев и их подроста, особенности их роста и формирования, обосновываются лесохозяйственные мероприятия [3–5], рассматриваются вопросы устойчивости, возобновления древесных пород в условиях техногенного загрязнения, адаптивные реакции, направленные на снижение негативного воздействия загрязнения и способствующие продолжительному существованию насаждений [6–8]. Ряд работ направлен на оценку городских лесонасаждений по показателям экологической продуктивности [9] и относительному жизненному состоянию лесных насаждений [10]. Большинство исследователей признают, что городские лесные насаждения по сравнению с другими лесонасаждениями подвержены влиянию различных факторов, таких как повышенная концентрация загрязняющих веществ, уплотнение почв, ограниченное пространство для роста, отрицательно сказывающихся на их состоянии и способствующие повышению восприимчивости к вредителям и болезням, а расширение городской застройки и транспортной инфраструктуры ведет к сокращению их площадей [11–13].

Таким образом, актуальная на сегодняшний день задача – контроль состояния зеленых насаждений. Для проведения проектных работ по стратегическому планированию и оптимизации системы древесно-кустарниковых насаждений города необходимо иметь детальное представление о фактическом распределении растительности, ее состоянии и динамике. Для проведения наземных полевых исследований требуются значительные временные и финансовые затраты. Поэтому на первоначальном этапе таких исследований целесообразно пользоваться данными дистанционного зондирования Земли с обработкой их инструментами географических информационных систем [14; 15].

Цель – определить динамику площадей древесно-кустарниковых насаждений Уфы по мультиспектральным космическим снимкам за последние 30 лет. Для реализации этой цели решались следующие задачи:

- 1) подбор и обработка мультиспектральных космических снимков Landsat, покрывающих территорию Уфы за период с 1988 по 2018 г.;
- 2) проведение неуправляемой классификации снимков с выделением пяти типов подстилающей поверхности;
- 3) количественная оценка трансформации типов подстилающей поверхности за 30 лет.

Материалы и методы исследования

В качестве информационной базы послужили космические снимки Landsat (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), покрывающие территорию Уфы, выполненные в летнее время, с облачностью менее 10 %.

Первый снимок был произведен 24.08.1988 г. (сцена LT51660221988237KIS00), второй – 26.07.2018 г. (сцена LC81660222018207LGN00), проекция снимков WGS84/UTM, зона 40N. На обоих снимках была выделена современная граница Уфы по данным публичной кадастровой карты (<https://pkk5.rosreestr.ru>). Таким образом, выделенная площадь Уфы составила 70 790 га, что соответствует состоянию на 01.01.2019 г.

Обработку снимков проводили с помощью инструментов программного продукта SAGA GIS – System for Automated Geoscientific Analyses, ver. 7.3.0 (<http://www.saga-gis.org>) [16]. Первоначальная обработка спектральных каналов снимков включала пересчет всех пикселей из безразмерных нормализованных значений (Digital Number, DN) в отражательную способность (reflectance) с помощью инструмента Top of Atmosphere Reflectance.

Уменьшение объема данных с шести мультиспектральных каналов до трех основных компонентов – яркость, уровень зеленого и влажность – выполнили с помощью инструмента Tasseled Cap Transformation [17].

Неуправляемую классификацию снимков произвели с помощью инструмента K-Means Clustering for Grids с выделением двадцати классов. Методом экспертного анализа, используя топографические карты, данные полевых наблюдений, изображения картографических интернет-ресурсов, каждый класс интерпретировали с группировкой их в следующие типы подстилающей поверхности: открытая почва, без растительности, травянистая растительность, древесно-кустарниковая растительность, под водой (рис. 1).

Тип «открытая почва» включает в себя участки обнаженного почвенного покрова, преимущественно свежеспаханные поля, лишенные равномерного растительного покрова;

Тип «без растительности» включает в себя большую группу урбанизированных территорий – земли под застройками, зданиями и сооружениями, под дорогами, тротуарами и т. д., а также природные участки, лишенные растительности, но без обнаженной почвы – скальные выходы, пески, овраги, неспаханые поля и т. д.

Тип «травянистая растительность» включает газоны, цветники, поля с сельскохозяйственными культурами, может включать единичные деревья и кустарники.

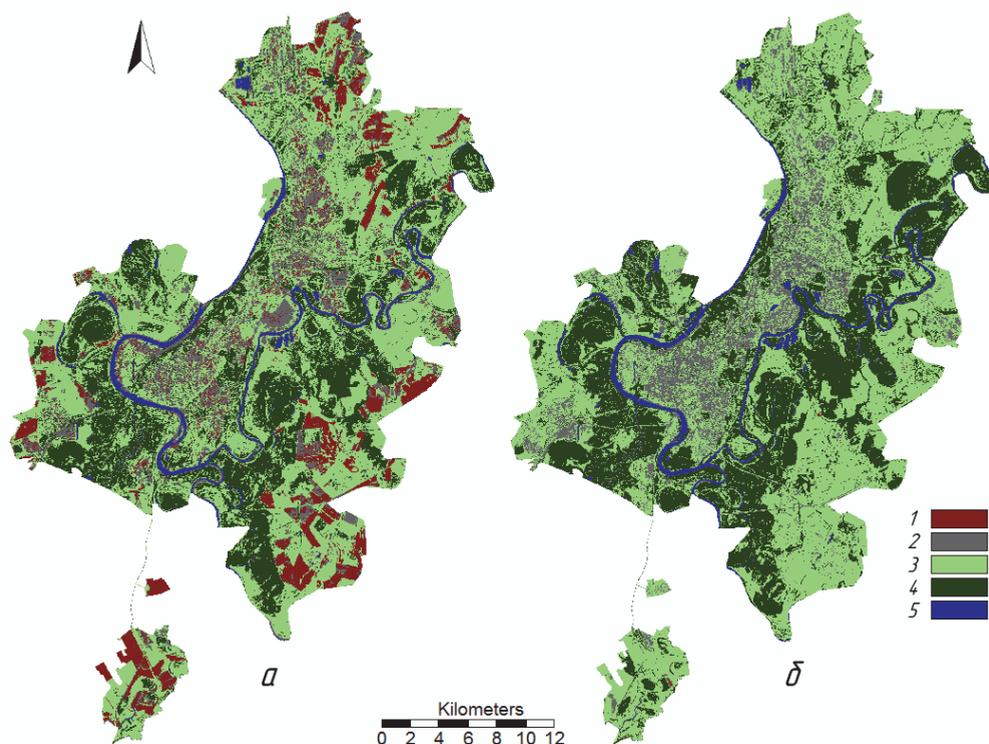


Рис. 1. Типы подстилающей поверхности Уфы от 24.08.1988 г. (а) и 26.07.2018 г. (б):

1 – открытая почва; 2 – без растительности; 3 – травянистая растительность;

4 – древесно-кустарниковая растительность; 5 – под водой

[Figure 1. Types of underlying surface of Ufa 24.08.1988 (a) and 26.07.2018 (b):

1 – soil; 2 – without vegetation; 3 – grass; 4 – trees and shrubs; 5 – under water]

Тип «древесно-кустарниковая растительность» включает древесную и кустарниковую растительность.

Тип «под водой» включает гидрографическую сеть: реки, озера, а также различные обводненные участки.

Различия на снимках 1998 и 2018 гг. по типам подстилающей поверхности выявили с помощью инструмента матрицы изменений Confusion Matrix (Two Grids).

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение земель по типам подстилающей поверхности показывает преобладание травянистой растительности, на долю которой приходится 48–52 %, и древесно-кустарниковой растительности (28–35 %). Тип «без растительности» занимает около 10 %, «открытая почва» – сильно варьирует по годам с 10 до 0,1 %. На долю водных участков приходится около 3,5 % (табл. 1).

Пространственные и количественные изменения за 30 лет наблюдаются во всех типах подстилающей поверхности. Площадь земель, характеризующихся типом «открытая почва», сократилась с 10 % (7205 га) в 1988 г. до 0,1 % (54 га) в 2018 г. Большая часть этих земель (5982 га) перешла в тип «травянистая растительность». Это можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, разницей в месяцах снимка: первый снимок (1988 г.) произведен в конце августа, когда на пахотных угодьях и в садово-дачных това-

риществах обнажается почва при различных работах (уборка урожая, сев озимых культур и т. д.). Тогда как второй снимок (2018 г.) произведен в конце июля – в разгар вегетационного периода. Во-вторых, изменением городской черты: 30 лет назад часть земель с обнаженной почвой – это поля, которые еще не относились к городу, а поэтому использовались для сельскохозяйственного производства.

Таблица 1

Распределение земель по типам подстилающей поверхности, %
 [Table 1. The distribution of types of the underlying surface, %]

Типы подстилающей поверхности [Types of underlying surface]	Распределение земель, % [Land distribution, %]	
	24.08.1988 г.	26.07.2018 г.
Открытая почва [Soil]	10,2	0,1
Без растительности [Without vegetation]	10,6	9,8
Травянистая растительность [Grass]	48,1	51,6
Древесно-кустарниковая растительность [Trees and shrubs]	27,9	34,9
Под водой [Under water]	3,2	3,6
Итого 2018 г. [Total 2018]	100	100

Таблица 2

Матрица изменений в типах подстилающей поверхности, га
 [Table 2. Changes in the types of the underlying surface, ha]

Тип подстилающей поверхности [Types of underlying surface]	Открытая почва [Soil]	Без растительности [Without vegetation]	Травянистая растительность [Grass]	Древесно-кустарниковая растительность [Trees and shrubs]	Под водой [Under water]	Итого в 1988 г. [Total in 1988]
Открытая почва [Soil]	15	864	5982	323	21	7205
Без растительности [Without vegetation]	20	3142	3399	641	300	7502
Травянистая растительность [Grass]	17	2172	24 077	7627	143	34 036
Древесно-кустарниковая растительность [Trees and shrubs]	2	613	3005	16 073	80	19 773
Под водой [Under water]	0	159	42	74	1999	2274
Итого 2018 г. [Total 2018]	54	6950	36 505	24 738	2543	70 790

Площадь земель, характеризующихся типом «без растительности», за 30 лет сократилась на 0,8 % (с 7502 до 6950 га). Однако в пространственном отношении наблюдаются значительные перемещения. Так, не трансформировавшиеся участки без растительности составили всего 3142 га. Большая часть (3399 га) – перешли в тип «травянистая растительность». При этом в других местах, наоборот, участки земель типа «травянистая растительность» площадью 2172 га трансформировались в тип «без растительности» (табл. 2). Такие изменения характерны для растущих городов, когда травяной покров сначала уничтожается на строительных площадках, а после сдачи объектов территория благоустраивается и озеленяется.

Площадь земель, классифицированных как «древесно-кустарниковая растительность» увеличилась на 7 % с 19 773 до 24 738 га.

По данным Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Башкортостан на 01.01.2019 г. [18]

под лесами занято 20 820 га, под лесами, не входящими в лесной фонд, – 689 га. Если учитывать, что при классификации снимка в древесно-кустарниковые насаждения входят также многолетние насаждения (3674 га), то цифры спутникового снимка 2018 г. сопоставимы с данными государственного учета земель.

Рассмотрим более подробно трансформацию земель, относящихся к типу «древесно-кустарниковая растительность» (рис. 2). Площадь участков, на которых тип подстилающей поверхности за 30 лет не сменился другим типом, составляет 16 073 га. Это равняется 65 % от современной их площади (зеленый цвет на рис. 2).

Земли, характеризовавшиеся в 1988 г. другими типами, а в 2018 г. перешедшие в тип «древесно-кустарниковые насаждения», занимают 8665 га. Это составляет 35 % современной их площади (желтый цвет на рис. 2). Среди них преобладают земли, трансформировавшиеся из типа «травянистая растительность».

Земли, характеризующиеся в 1988 г. как древесно-кустарниковые насаждения, а в 2018 г. – другими типами, занимают 3700 га (красный цвет на рис. 2).

Таким образом, наблюдается положительная динамика сохранения и увеличения площади древесно-кустарниковых насаждений. Но, если взглянуть на карту, видно, что это характерно не для всего городского округа, а преимущественно для лесов Уфимского городского лесничества, которые расположены в основном по окраине, вокруг центральной части города. Такая динамика объясняется рядом причин. Во-первых, если учитывать, что тип «травянистая растительность» может включать одиночные, редкие деревья или молодые несомкнувшиеся лесные культуры, которые за 30 лет подросли, кроны деревьев сомкнулись и насаждения превратились в настоящие лесные массивы. Во-вторых, положительная динамика в увеличении площади лесов Уфимского городского лесничества, относящихся к защитным лесам, к категории защитности «городские леса» – это результат признания особой ценности этих лесов, установление особого правового режима использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, введение ряда запретов (на использование токсичных химических препаратов, ведение охотничьего, сельского хозяйства, разработку месторождений полезных ископаемых, размещение объектов капитального строительства).

Так, сохранение лесов наблюдается на восточном склоне р. Уфы с преобладанием дуба, липы, осины и лесных культурах сосны; на острове Козарез – в окружении старицы р. Белой, в насаждениях дуба и вяза; в северо-восточной части Уфы – в урочище Максимовское болото, в насаждениях ольхи и березы.

К ним относится и дендрологический памятник природы регионального значения Непейцевский дендропарк. Это один из старейших дендропарков в Республике Башкортостан, заложенный еще в дореволюционное время и имеющий особое природоохранное, научное, культурное, оздоровительное значение. Однако на периферии дендропарка, граничащей с многоэтажной застройкой, все же наблюдается уменьшение доли древесно-кустарниковых насаждений.

Однако рост города не может не сказаться на городских лесах: на отдельных участках наблюдается сокращение лесных насаждений, как правило, связанное со строительством или расширением инфраструктурных объектов, например, автомобильных дорог (Каменная переправа, Дёмское шос-

се, северный обход Затона). Существенное снижение доли лесных насаждений наблюдается в пойменных лесах из дуба и ольхи на западном берегу р. Белой, между озерами Ольховое, Березовое и Духовое, в овражных липовых насаждениях Нагаевского кордона.

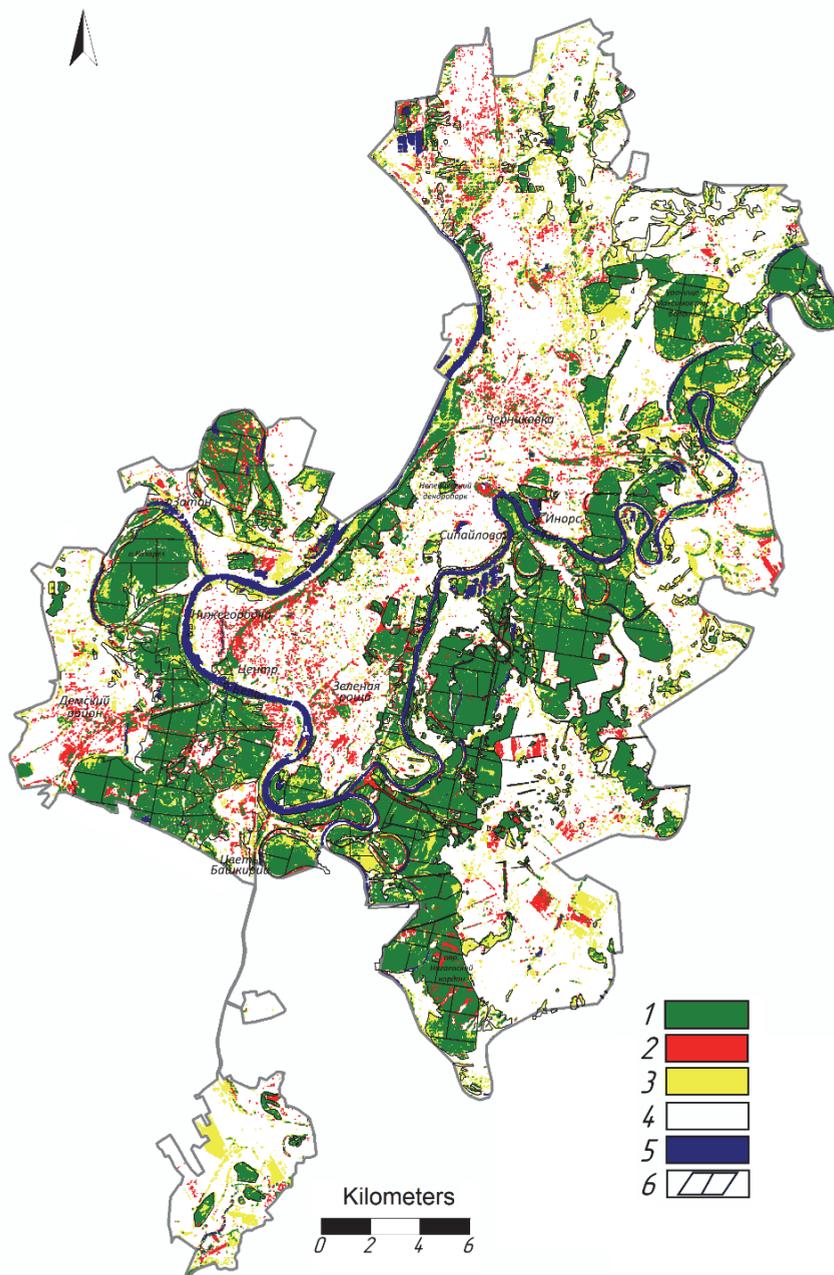


Рис. 2. Трансформация древесно-кустарниковых насаждений за 1988–2018 гг.:

1 – земли, на которых древесно-кустарниковая растительность сохранилась; 2 – земли, на которых древесно-кустарниковая растительность сменилась на другие типы подстилающей поверхности; 3 – земли, на которых другие типы подстилающей поверхности сменились на древесно-кустарниковую растительность; 4 – земли, характеризующиеся другими типами подстилающей поверхности на обоих снимках; 5 – участки под водой (2018 г.); 6 – квартальная сеть лесов Уфимского городского лесничества

[Figure 2. Changes in the “Trees and shrubs” type for 1988–2018:

1 – the “Trees and shrubs” type has been preserved; 2 – the “Trees and shrubs” type was transformed into other types; 3 – other types were transformed into the “Trees and shrubs” type”; 4 – other types have survived; 5 – under water; 6 – forest quarters of the Ufa city forestry]

Для «внутригородских» древесно-кустарниковых насаждений, не относящихся к лесному фонду и расположенных в застроенной части города, характерна устойчивая отрицательная динамика и смена другими типами подстилающей поверхности. Особенно это наблюдается в южной, западной и центральной частях (Демский район, Затон, Зеленая роща, Нижегородка, Цветы Башкирии, Кооперативная поляна), а также в северных районах города (Черниковка, Инорс). Среди крупных парков, лесопарков и садов уменьшение древесно-кустарниковой растительности наблюдается как по окраинам рекреационных объектов (Демский парк культуры и отдыха, Сад культуры и отдыха имени С. Юлаева), так и внутри объектов (Лесопарк имени Лесоводов Башкирии, Парк культуры и отдыха имени М.И. Калинина, парк имени Гастелло, Парк культуры и отдыха нефтехимиков, Парк культуры и отдыха имени М. Гафури, Сад культуры и отдыха имени С.Т. Аксакова).

Заключение

За 30 лет в количественном отношении площадь древесно-кустарниковых насаждений Уфы увеличилась. Однако в пространственном отношении наблюдается значительное варьирование. Так, положительная динамика увеличения доли древесно-кустарниковой растительности характерна для лесов Уфимского городского лесничества как следствие накладываемых ограничений целевым назначением и категорией защитности лесов. Во внутригородских насаждениях, наоборот, наблюдается уменьшение лесных насаждений, как правило, связанное с ростом и расширением города, увеличением застроенных площадей и строительством инфраструктурных объектов.

Опыт использования архивных снимков Landsat при оценке древесной растительности позволяет составить картину динамических изменений площади лесов с высокой степенью достоверности и реализовывать ландшафтно-экологический подход при ведении хозяйства в лесах Уфы.

Список литературы

- [1] Правила охраны, защиты и воспроизводства лесов и содержания зеленых насаждений в городском округе г. Уфа Республики Башкортостан (в редакции решений Совета городского округа г. Уфа Республики Башкортостан от 30.12.2015 № 55/3). URL: <http://docs.cntd.ru/document/438917053> (дата обращения: 15.01.2020).
- [2] *Ишибирдина Л.М.* Эколого-биологическая характеристика флоры и растительности города Уфы и ее динамика за 60–80 лет: автореф. ... дис. к. б. н. Днепропетровск, 1992. 16 с.
- [3] *Конашова С.И., Султанова Р.Р., Абдулов Т.Х., Ханов Д.А.* Ведение хозяйства в городских лесах // *Аграрный вестник Урала*. 2010. № 3 (69). С. 93–95.
- [4] *Хайретдинов А.Ф., Баранов С.В.* Природа и насаждения зеленой зоны г. Уфы. Уфа: БГАУ, 2007.
- [5] *Габделхаков А.К., Сабирова Г.В., Фазлутдинов И.И.* Состояние насаждений липы мелколистной в зеленой зоне г. Уфы // *Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: международный сборник научных статей*. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. С. 84–93.
- [6] *Гатин И.М., Музафарова А.А., Кулагин А.А.* Характеристика возобновительного потенциала древесных растений на техногенных территориях // *Вестник Башкирского университета*. 2006. № 4. С. 46–47.

- [7] Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Сосна обыкновенная и нефтехимическое загрязнение: дендроэкологическая характеристика, адаптивный потенциал и использование. М.: Наука, 2006. 124 с.
- [8] Кулагин А.А., Рыбакова Е.А. Особенности водного режима березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth) в течение вегетационного периода на территории города Уфы Республики Башкортостан // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. № 5. С. 193–196.
- [9] Исяньюлова Р.Р., Габдрахимов К.М., Рамазанов Ф.Ф. Экологическая продуктивность насаждений г. Уфы. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. 118 с.
- [10] Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, 2015. 196 с.
- [11] Flint H.L. Plants showing tolerance of urban stress // Journal of Environmental Horticulture. 1985. No. 3. Pp. 85–89.
- [12] Metzger J.M., Oren R. The effect of crown dimensions on transparency and the assessment of tree health // Ecological Applications. 2001. No. 11. Pp. 1634–1640.
- [13] Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Исаков Ф.Ф., Серова О.В. Динамика вегетационного индекса NDVI насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения Уфимского промышленного центра // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2019. № 2 (34). С. 116–117.
- [14] Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Губаев А.В., Полевищикова Ю.А., Демешева Е.Н., Коптелов В.О. Дистанционный мониторинг городских лесов // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1 (25). С. 5–21.
- [15] Погорелов А.В., Литлин Д.А. Зеленые насаждения города Краснодара. Оценка и многолетние изменения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 3. С. 192–205.
- [16] Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 // Geosci. Model Dev. 2015. Vol. 8. Pp. 1991–2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.
- [17] Healey S.P., Cohen W.B., Zhiqiang Y., Krankina O. Comparison of Tasseled Cap Based Landsat Data Structures for Use in Forest Disturbance Detection // Remote Sensing of Environment. 2005. No. 97. Pp. 301–310.
- [18] Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Республике Башкортостан в 2018 году / Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Башкортостан. Уфа, 2019. 247 с.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 02.02.2020

Дата принятия к печати: 21.02.2020

Для цитирования:

Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Кулагин А.Ю. Дистанционный мониторинг зеленых насаждений Уфы за 1988–2018 годы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 263–274. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-263-274>

Сведения об авторах:

Рахматуллина Ирина Римилевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, географии и природопользования Башкирского государственного педагогического университета имени М. Акмуллы. eLIBRARY SPIN-код: 5798-0502. E-mail: rahmat_irina@mail.ru

Рахматуллин Загир Забирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна Башкирского государственного аграрного университета. eLIBRARY SPIN-код: 3321-2007. E-mail: zagir1983@mail.ru

Кулагин Алексей Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией лесоведения Уфимского института биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук. eLIBRARY SPIN-код: 2468-8394; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7574-4547>. E-mail: coolagin@list.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-263-274

Scientific article

Remote monitoring of green plants of Ufa in 1988–2018

Irina R. Rakhmatullina¹✉, Zagir Z. Rakhmatullin², Alexey Yu. Kulagin^{1,3}

¹*Bashkir State Pedagogical University,
3a Oktyabrskoy revolyutsii St, Ufa, 450008, Russian Federation*

²*Bashkir State Agrarian University,
34 50-letiya Oktyabrya St, Ufa, 450001, Russian Federation*

³*Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
69 Prospekt Oktyabrya, Ufa, 450054, Russian Federation*

✉ rahmat_irina@mail.ru

Abstract. Green spaces of the city are an integral part of its ecological framework. When planning urban space, information is needed on their actual distribution, condition and dynamics. To do this, it is advisable to use satellite images. The purpose of the work is to conduct remote monitoring of green spaces of Ufa using Landsat satellite images over the past 30 years. Image processing, including radiometric calibration, reducing the amount of data from 6 channels to 3 main components, uncontrolled classification of images, grouping classes to 5 types of underlying surface (open soil, no vegetation, grassy vegetation, tree and shrub vegetation, underwater), matrix construction changes were made using the tools of the SAGA GIS software product. As a result, a map was constructed showing spatial changes of the “tree-shrub vegetation” type over 30 years. The plots on which this type is preserved make up 16 073 ha, on which it was replaced by another type of underlying surface – 3700 ha. Plots characterized in 1988 by other types, and in 2018 converted to the “tree-shrub vegetation” type, occupy 8665 ha. On the one hand, there is a positive trend in the conservation and increase in the area of tree-shrub plantings. But this is not characteristic of the entire urban district, but mainly of the forests of the Ufa urban forestry, which are located mainly on the outskirts, around the central part of the city. For intracity tree-shrub plantings that are not related to the forest fund and located in the built-up part of the city, stable negative dynamics and a change in other types of underlying surface are characteristic.

Keywords: green spaces, tree-shrub vegetation, Landsat satellite images, types of underlying surface

References

- [1] *Pravila okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov i sodержaniya zelenykh nasazhdenii v gorodskom okruge g. Ufa Respubliki Bashkortostan (v redaktsii reshenii Soveta gorodskogo okruga g. Ufa Respubliki Bashkortostan ot 30.12.2015 № 55/3)* [Rules of protection, protection and reproduction of forests and maintenance of green spaces in

- the city district of Ufa of the Republic of Bashkortostan (as amended by the decisions of the Council of the City District of Ufa of the Republic of Bashkortostan 30.12.2015, 55.3]. (In Russ.) Available from: <http://docs.cntd.ru/document/438917053> (accessed: 15.01.2020).*
- [2] Ishbirdina LM. *Ekologo-biologicheskaya kharakteristika flory i rastitel'nosti goroda Ufy i ee dinamika za 60–80 let [Ecological and biological characteristics of the flora and vegetation of the city of Ufa and its dynamics over 60–80 years]* (abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences). Dnepropetrovsk; 1992. (In Russ.)
- [3] Konashova SI, Sultanova RR, Abdulov TKh, Khanov DA. Management of the urban forests. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2010;3(69):93–95. (In Russ.)
- [4] Khayretdinov AF, Baranov SV. *Priroda i nasazhdeniya zelenoi zony g. Ufy [Nature and plantings of the green zone of Ufa]*. Ufa: BSAU; 2007. (In Russ.)
- [5] Gabdelkhakov AK, Sabirova GV, Fazlutdinov II. The state of small-leaved linden plantations in the green zone of Ufa. *Forest ecosystems in the context of climate change: biological productivity and remote monitoring*. Yoshkar-Ola: VSUT; 2017. p. 84–93. (In Russ.)
- [6] Gatin IM, Muzafarova AA, Kulagin AA. Characteristics of the renewable potential of woody plants in technogenic territories. *Bulletin of Bashkir University*. 2006;(4):46–47. (In Russ.)
- [7] Zaitsev GA, Kulagin AY. *Sosna obyknovennaya i neftekhimicheskoe zagryaznenie: dendroekologicheskaya kharakteristika, adaptivnyi potentsial i ispol'zovanie [Scotch pine and petrochemical pollution: dendroecological characteristics, adaptive potential and use]*. Moscow: Nauka Publ.; 2006. (In Russ.)
- [8] Kulagin AA, Rybakova EA. Features of the water regime of the warty birch (*Betula pendula* Roth) during the growing season in the city of Ufa, Bashkortostan. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;(5):193–196. (In Russ.)
- [9] Isangulova RR, Gabdrahimov KM, Ramazanov FF. *Ekologicheskaya produktivnost' nasazhdenii g. Ufy [Ecological productivity of plantations of Ufa]*. Ufa: Bashkir State Agrarian University; 2011. (In Russ.)
- [10] Kulagin AYu, Tagirova OV. *Lesnye nasazhdeniya Ufimskogo promyshlennogo tsentra: sovremennoe sostoyanie v usloviyakh antropogennykh vozdeistvii [Forest plantings of the Ufa industrial center: the current state in the conditions of anthropogenic impacts]*. Ufa: Gilem Publ.; 2015. (In Russ.)
- [11] Flint HL. Plants showing tolerance of urban stress. *Journal of Environmental Horticulture*. 1985;(3):85–89.
- [12] Metzger JM, Oren R. The effect of crown dimensions on transparency and the assessment of tree health. *Ecological Applications*. 2001;(11):1634–1640.
- [13] Rakhmatullina IR, Rakhmatullin ZZ, Iskhakov FF, Serova OV. Dynamics of the NDVI vegetation index of pine forest plantations (*Pinus Sylvestris* L.) under pollution in industrial center of Ufa. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Studies*. 2019;2(34):116–117. (In Russ.)
- [14] Vorobev ON, Kurbanov EA, Gubaev AV, Polevshchikova YuA, Demisheva EN, Koptelov VO. Remote monitoring of urban forests. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015;1(25):5–21. (In Russ.)
- [15] Pogorelov AV, Lipilin DA. Green plantings of the city of Krasnodar. Evaluation and multi-year changes. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Studies*. 2017;(3):192–205. (In Russ.)
- [16] Conrad O, Bechtel B, Bock M, Dietrich H, Fischer E, Gerlitz L, Wehberg J, Wichmann V, Böhner J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) V. 2.1.4. *Geosci. Model Dev*. 2015;8:1991–2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.
- [17] Healey SP, Cohen WB, Zhiqiang Y, Krankina O. Comparison of Tasseled Cap Based Landsat Data Structures for Use in Forest Disturbance Detection. *Remote Sensing of Environment*. 2005;(97):301–310.

- [18] Department of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in the Republic of Bashkortostan. *Gosudarstvennyi (natsional'nyi) доклад o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Respublike Bashkortostan v 2018 godu* [State (national) report on the state and use of land in the Republic of Bashkortostan in 2018]. Ufa; 2019. (In Russ.)

Article history:

Received: 02.02.2020

Revised: 21.02.2020

For citation:

Rakhmatullina IR, Rakhmatullin ZZ, Kulagin AYu. Remote monitoring of green plants of Ufa in 1988–2018. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):263–274. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-263-274>

Bio notes:

Irina R. Rakhmatullina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Geography and Nature Management of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. eLIBRARY SPIN-code: 5798-0502. E-mail: rahmat_irina@mail.ru

Zagir Z. Rakhmatullin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Design of the Bashkir State Agrarian University. eLIBRARY SPIN-code: 3321-2007. E-mail: zagir1983@mail.ru

Alexey Yu. Kulagin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Forest Science of the Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences. eLIBRARY SPIN-code: 2468-8394; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7574-4547>. E-mail: coolagin@list.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-275-284

УДК 598.2

Научная статья

Распределение фотосинтезирующих видов в пещерах гротового типа разных регионов

С.Е. Мазина^{1,2}✉, А.В. Попкова²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3

²Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

✉ conophytum@mail.ru

Аннотация. В статье обсуждается экологическая значимость сообществ фототрофов входной зоны пещер гротового типа как экотонов и рефугиумов. Рассматривается вопрос интразональности видов в составе таких сообществ и зависимость видового состава от географического положения пещеры. Целью данной работы было выявление сходных пещер различных регионов на основе видового состава сообществ фототрофов на основе собственных данных и данных из источников литературы. Проанализированы списки видов собственных исследований, проведенных по стандартным методикам выявления видового состава альгофлоры и бриофлоры, а также списки видов из источников литературы. На основании таксономического анализа установлены виды, встречающиеся во всех исследованных пещерах: *Chroococcus minutus* и *Chlorella vulgaris*. Таким образом, отчасти подтверждается интразональный характер флоры входных участков пещер-гротов. Выявлено четыре кластера: меловые пещеры Воронежской области; известняковые гроты Украины и Абхазии; кельи Старого Орхья и кельи Бакотского монастыря; пещеры Италии и Венгрии. Установлена зависимость биоразнообразия фототрофов от состава пород, географического положения и генезиса полостей.

Ключевые слова: цианобактерии, водоросли, подземные местообитания, гроты

Введение

Входные участки подземных полостей рассматривают как особые местообитания, переходные между поверхностными и подземными экосистемами, — зоны экотонов [1–3]. Экотоны характеризуются наличием абиотических градиентов, для входных зон пещер основными являются градиенты освещенности, влажности и температуры. При стабилизации параметров микроклимата обнаруживаются флуктуации, значимость которых для видового состава и функционирования сообществ не исследована. Сравнительный анализ сообществ фототрофов входных зон пещер с различной морфологией входов

© Мазина С.Е., Попкова А.В., 2020



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

указывает на влияние на видовой состав и структуру сообществ таких параметров входа, как его размер, наклон и протяженность привходовой зоны [4]. На основании исследования цианобактерий и водорослей сообществ входных зон пещер высказывается предположение об интразональном характере альгофлоры этих участков пещер [5].

Пещеры принято рассматривать как среду с более стабильными, по сравнению с поверхностью, климатическими условиями, а освещенную зону, где, как правило, стабильна температура и повышена влажность, определяют как рефугиум для влаголюбивых и теневыносливых видов, особенно учитывая изолированность входа от действия снежно-ледовых масс в течение всего года или сезонно. В случае входов пещер в виде колодцев, где скапливаются снег и лед, формируется особый микроклимат пещеры, который может значительно отличаться от регионального тренда. Иная ситуация наблюдается при наличии в пещерах искусственного или естественного происхождения входов в виде гротов. Такая ландшафтная форма наиболее благоприятна для поддержания условий оптимальной повышенной влажности и стабильной положительной температуры в течение всего года [4]. В условиях средней полосы и в среднегорье фототрофы не испытывают стресса от замерзания, а в более южных регионах не высыхают в летний период. Если принять за отправную точку утверждение, что сообщества входов пещер имеют в своем составе реликтовые и интразональные виды, то можно предположить, что именно в пещерах гротового типа, как искусственного, так и естественного происхождения, можно обнаружить наивысшее сходство структуры и состава видов в сообществах.

Целью данной работы было выявление сходных пещер различных регионов на основе данных видового состава сообществ фототрофов методом кластерного анализа с применением метрики Евклидова расстояния.

Материалы и методы

В качестве объектов исследований выбраны пещеры гротового типа различного генезиса и географического положения. Проанализирована таксономическая структура фотосинтезирующих видов освещенных участков ряда пещер. Пещеры Лискинского района Воронежской области искусственного происхождения, вырубленные в меловых отложениях. Пещеры хутора Дивногорье – церковь Сицилийской иконы Божией Матери (Большие Дивы) и пещерный храм Рождества Иоанна Предтечи (Малые Дивы). Пещеры в селе Костомарово: № 3, где расположены храм Спаса Нерукотворного и храм Веры, Надежды, Любви и матери их Софии; № 4, 5 и 6 – пещеры-кельи; № 7 – храм преподобного Серафима Саровского; № 8 – Покаянная. Известняковые подземные кельи скального монастыря «Успение Божьей Матери» расположены в историко-археологическом комплексе «Старый Орхей» (Молдавия). Грот Симона Кананита (заложен в известняках), находится в г. Новый Афон в Республике Абхазия.

Использованы данные исследований 2016–2018 годов.

Идентификацию видов сообществ обрастаний проводили с использованием культуральных и микроскопических методов. Методики описаны в [6].

Систематика мохообразных приведена по [7; 8], цианобактерий и водорослей по [9].

Для анализа сходства сообществ фототрофов различных регионов проведен кластерный анализ с применением метрики Евклидова расстояния на основе значений встречаемости видов. Кроме того, осуществлено сравнение фототрофов исследованных пещер со списками видов фототрофов ряда пещер гротового типа, описанных в литературе [10–12]:

1) пещеры *Венгрии*: Kis Vizes-barlang, Nagy Vizes-barlang, Beremendi-ordoglyuk [10];

2) пещеры *Украины*: гроты Залучанский и Бакотский, товтра «Першак», образованные скоплением крупных обломков известняка; кельи Бакотского скального монастыря, выбитые в известняковой скале [11];

3) пещеры *Италии*: Sybil's Cave и Piscina Mirabilis, вырубленные в вулканическом неаполитанском желтом туфе [12].

Результаты и их обсуждение

Сравнение таксономического состава исследованных полостей выявило преобладание представителей *Bryophyta* в известняковых пещерах и *Chlorophyta* в некоторых меловых (Большие Дивы, пещеры № 3 и 7) (рис. 1). Аналогичное явление неоднократно описано для пещер различных регионов [13–17]. Установленное преобладание цианобактерий в сообществах освещенной зоны связывают с их адаптациями к недостатку освещения [18]. Доминирование зеленых водорослей в меловых пещерах можно объяснить повышенным альбедо субстрата.

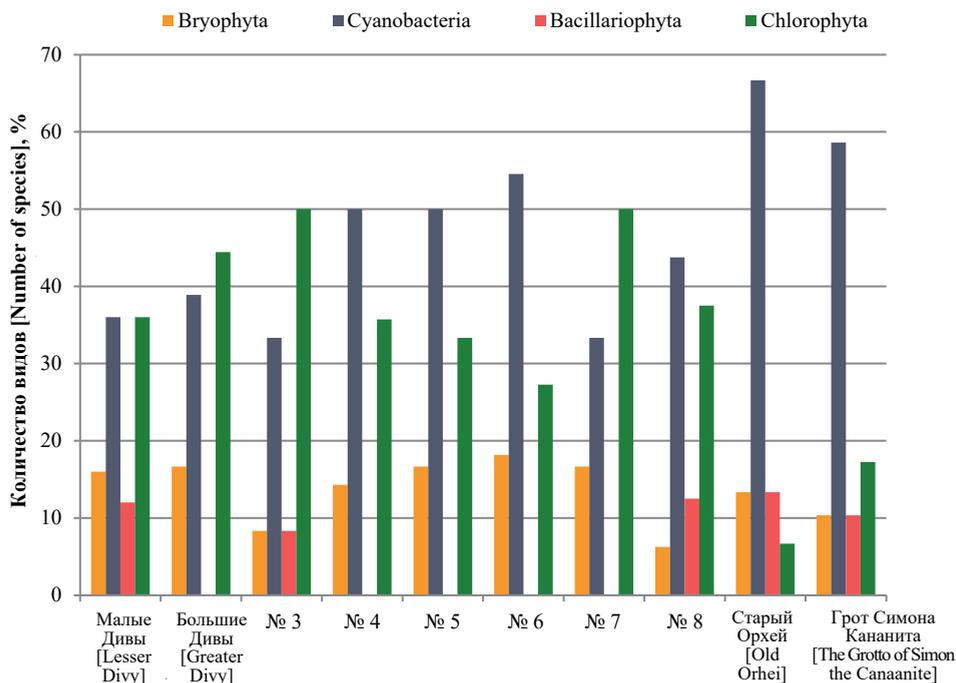


Рис. 1. Сравнение таксономической структуры пещер гротового типа
 [Figure 1. The taxonomic structure comparison of grotto type caves]

Таксономическое распределение видов фототрофов
[Table. Taxonomic distribution of phototrophic species]

Класс [Class]	Порядок [Order]	Семейство [Family]	МД	БД	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	СО	СК
			[MD]	[BD]							[SO]	[SK]
Число видов [Species number]												
BRYOPHYTA												
Bryopsida	<i>Grimmiales</i>	<i>Seligeriaceae</i>	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0
	<i>Bryales</i>	<i>Bartramiaceae</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Hypnales</i>	<i>Brachytheciaceae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	<i>Timmiales</i>	<i>Timmiaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Pottiales</i>	<i>Pottiaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CHLOROPHYTA												
Chlorophyceae	<i>Chlamydomonadales</i>	<i>Chlamydomonadaceae</i>	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
		<i>Chlorococcaceae</i>	2	1	2	1	1	1	2	2	0	1
		<i>Coccomyxaceae</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Chlorosarcinaceae</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
	<i>Sphaeropleales</i>	<i>Mychonastaceae</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Bracteococcaceae</i>	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Radiococcaceae</i>		1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	
Trebouxiophyceae	<i>Chlorellales</i>	<i>Chlorellaceae</i>	2	2	3	1	1	1	2	2	1	1
	<i>Prasiolales</i>	<i>Prasiolaceae</i>	1	1	1	1	0	0	2	1	0	0
CYANOBACTERIA												
Cyanophyceae	<i>Chroococcales</i>	<i>Chroococcaceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
		<i>Microcystaceae</i>	2	2	2	1	1	1	0	1	1	4
		<i>Aphanothecaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Synechococcales</i>	<i>Pseudanaebanaceae</i>	1	0	1	1	1	1	0	1	2	0
		<i>Merismopediaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
		<i>Leptolyngbyaceae</i>	3	2	2	2	2	2	2	2	0	4
	<i>Nostocales</i>	<i>Nostocaceae</i>	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2
		<i>Aphanizomenonaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Oscillatoriales</i>	<i>Coleofasciculaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		<i>Oscillatoriaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		<i>Cyanothecceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
BACILLARIOPHYTA												
Bacillariophyceae	<i>Bacillariales</i>	<i>Bacillariaceae</i>	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
	<i>Naviculales</i>	<i>Diaesmidaceae</i>	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
		<i>Naviculaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Tabellariales</i>	<i>Tabellariaceae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coscinodiscophyceae</i>	<i>Melosirales</i>	<i>Melosiraceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Mediophyceae</i>	<i>Stephanodiscales</i>	<i>Stephanodisceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

Примечание: МД – Малые Дивы; БД – Большие Дивы; СО – кельи Старого Орхея; СК – грот Симона Кананита.

Note: МД – Lesser Divy; БД – Greater Divy; СО – monastic cells of Old Orhei; СК – the grotto of Simon the Canaanite.

Проведено сравнение таксономической структуры видов внутри отделов *Bryophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta* и *Cyanobacteria* (см. таблицу). В результате сходство на уровне отделов не установлено, но оно проявляется на уровне порядков и семейств. Виды порядков *Chlorellales* (семейство *Chlorellaceae*), *Chroococcales* (семейство *Chroococcaceae*) и *Nostocales* (семейство *Nostocaceae*) встречались во всех исследованных полостях, в то время как представители *Oscillatoriales* только в кельях Старого Орхея и гроте Симона Кананита.

Представители порядка *Synechococcales* различались на региональном уровне: виды семейств *Pseudanabaenaceae* и *Leptolyngbyaceae* отмечены в пещерах Воронежской области и Абхазии, но отсутствуют в кельях Молдавии, а виды семейства *Merismopediaceae* обнаружены в подземных полостях Молдавии и Абхазии, но не обнаружены в пещерах Воронежской области. Представители порядков *Melosirales* (семейство *Melosiraceae*) и *Stephanodisciales* (семейство *Stephanodiscaceae*) выделены из пещер Абхазии и Молдавии, но отсутствуют в Воронежской области.

Во всех исследованных пещерах встречались цианобактерия *Chroococcus minutus* (Kützing) Nägeli и зеленая водоросль *Chlorella vulgaris* Beyerinck.

В результате сравнения собственных данных и данных литературы [10–12] установлены виды, характерные для нескольких регионов. Цианобактерия *Aphanocapsa muscicola* (Meneghini) Wille обнаружена в гроте Симона Кананита (Абхазия), кельях Старого Орхея (Молдавия), а также гротах Залучанский, Бакотский и товтре «Першак» (Украина). *Bracteacoccus minor* (Chodat) Petrová выявлен в меловых пещерах Воронежской области и гротах Украины. *Chroococcus minutus* (Kützing) Nägeli и *Leptolyngbya foveolaria* (Gomont) Anagnostidis & Komárek встречалась в гротах Воронежской области, Абхазии, Венгрии.

Подобная интразональность характерна для ряда видов пещер, расположенных в разных регионах и на разных континентах: *Chlorella vulgaris* Beyerinck [6; 11; 19; 20], *Scytonema julianum* Meneghini ex B.A. Whitton [4; 14; 21; 22], *Stichococcus bacillaris* Nägeli [10; 11; 20; 23–25], *Fissidens taxifolius* Hedw. [26; 27], *Eucladium verticillatum* [10; 26–28], *Gloeocapsa punctata* Nägeli [10; 11; 20; 29].

Проведен анализ сходства фототрофов по собственным данным (рис. 2). Выделены два кластера: в первый вошли пещеры Воронежской области, а второй объединил кельи Старого Орхея и грот Симона Кананита.

При сравнении флоры исследованных пещер с данными, обнаруженными в литературе, получены следующие результаты. Пещеры были объединены в четыре основных кластера (рис. 3). Первый кластер состоял из пещер Воронежской области; второй кластер включал кельи Старого Орхея и кельи Бакотского монастыря; третий кластер образовали пещеры Италии и Венгрии; в четвертый кластер вошли гроты Украины и Абхазии. Однако, третий кластер можно разделить на два кластера меньшего размера: один содержит пещеры Венгрии, а второй пещеры Италии.

Объединение в общий кластер пещер, заложенных в мелах, заставляет предположить значимость этого фактора для видового состава, однако отсутствие данных по меловым пещерам других регионов не дает возможности проверить данное предположение. Объединение пещер-келей может быть связано с влиянием на состав биоты антропогенной нагрузки.

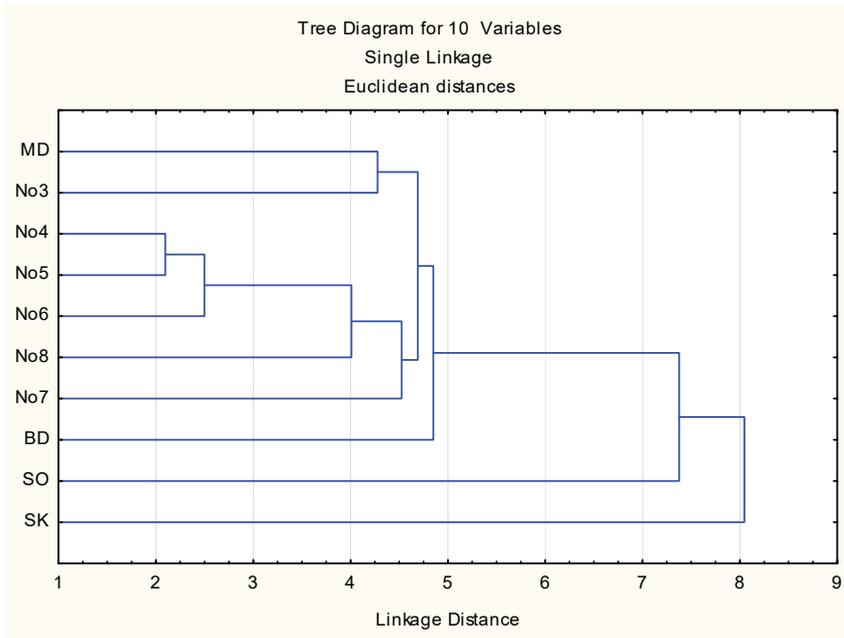


Рис. 2. Кластерный анализ пещер гротового типа на основе состава сообществ фотосинтезирующих организмов:
MD – Малые Дивы; BD – Большие Дивы; SO – кельи Старого Орхея; SK – грот Симона Кананита
[**Figure 2.** Cluster analysis of grotto type caves based on the composition of phototropic communities:
MD – Small Divas; BD – Large Divas; SO – monastic cells of Old Orhei; SK – the grotto of Simon the Canaanite]

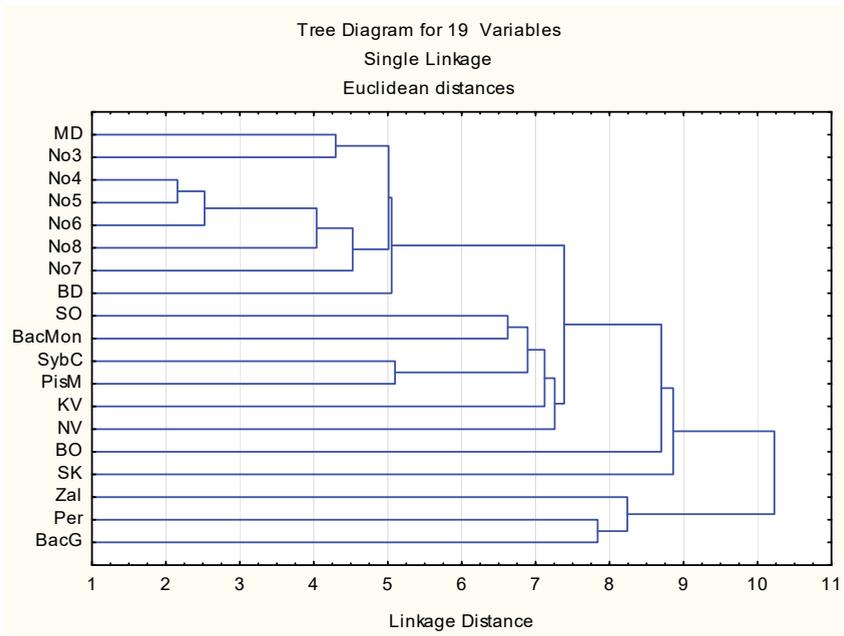


Рис. 3. Кластерный анализ пещер гротового типа на основе состава сообществ фотосинтезирующих организмов:
MD – Малые Дивы; BD – Большие Дивы; SO – кельи Старого Орхея; BacMon – Бакотский монастырь;
SybC – Sybil’s Cave; PisM – Piscina Mirabilis; KV – Kis Vizes-barlang; NV – Nagy Vizes-barlang; BO – Beremendi-ordoglyuk;
SK – грот Симона Кананита; Zal – грот Залучанский; Per – товра «Першак»; BacG – грот Бакотский
[**Figure 3.** Cluster analysis of grotto type caves based on the composition of phototropic communities:
MD – Small Divas; BD – Large Divas; SO – monastic cells of Old Orhei; BacMon – Bakotsky monastery; SybC – Sybil’s Cave;
PisM – Piscina Mirabilis; KV – Kis Vizes-barlang; NV – Nagy Vizes-barlang; BO – Beremendi-ordoglyuk;
SK – the grotto of Simon the Canaanite; Zal – the grotto Zaluchansky; Per – tovtva “Pershak”; BacG – the grotto Bakotsky]

Заключение

Полученные результаты подтверждают зависимость биоразнообразия фототрофов от географической локации, а также от морфологии входной зоны, пород и генезиса полостей. Выявлен географический тренд распределения фотосинтезирующих видов в пещерах гротового типа.

Список литературы / References

- [1] Prous X, Lopes Ferreira R, Jacobi CM. The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. *International Journal of Speleology*. 2015;44(2):177–189.
- [2] Hills N, Hose GC, Cantlay AJ, Murray BR. Cave invertebrate assemblages differ between native and exotic leaf litter. *Austral Ecology*. 2008;33(3):271–277.
- [3] Novak T, Perc M, Lipovsek S, Janžekovič F. Duality of terrestrial subterranean fauna. *International Journal of Speleology*. 2012;41(2):181–188.
- [4] Kozlova EV, Mazina SE, Pešić V. Biodiversity of phototrophs in illuminated entrance zones of seven caves in Montenegro. *Ecologica Montenegrina*. 2019;20:24–39.
- [5] Абдуллин Ш.Р., Миркин Б.М. Синтаксономия цианобактериально-водорослевых ценозов пещер России и некоторых сопредельных государств // Растительность России. 2015. № 27. С. 3–23.
Abdullin ShR, Mirkin BM. Syntaxonomy of cyanobacterial-algal cenoses of caves in Russia and some neighboring states. *Vegetation of Russia*. 2015;27:3–23. (In Russ.)
- [6] Попкова А, Мазина С. Микробиота отаповой пещеры. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2019;75(3):71–82.
- [7] Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России. Т. 1. М.: КМК, 2003.
Ignatov MS, Ignatova EA. *Flora mkhov srednei chasti Evropeiskoi Rossii [Flora of mosses of the European part of Russia]*. Moscow: KMK Publ.; 2003. (In Russ.)
- [8] Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России. Т. 2. М.: КМК, 2004.
Ignatov MS, Ignatova EA. *Flora mkhov srednei chasti Evropeiskoi Rossii [Flora of mosses of the European part of Russia]*. Moscow: KMK Publ.; 2003. (In Russ.)
- [9] Guiry MD, Guiry GM. *AlgaeBase. World-wide electronic publication*. Ireland, Galway: National University; 2020. Available from: <http://www.algaebase.org> (accessed: 20.03.2020).
- [10] Buczkó K, Rajczy M. Contributions to the flora of the Hungarian caves II. Flora of the three caves near Beremend, Hungary. *Studia Botanica Hungarica (Antea: Fragmenta Botanica)*. 1989;21:13–26.
- [11] Виноградова О.Н., Михайлюк Т.И. Альгофлора пещер и гротов национального природного парка «Подольские Товтры» (Украина) // Альгология. 2009. Т. 19. № 2. С. 155–171.
Vinogradova ON, Mikhailyuk TI. Algal flora of caves and grottoes in the national nature park “Podilsky Tovtry” (Ukraine). *Algologia*. 2009;19(2):155–171. (In Russ.)
- [12] Cennamo P, Marzano C, Ciniglia C, Pinto G, Cappelletti P, Caputo P, Pollio A. A survey of the algal flora of anthropogenic caves of Campi Flegrei (Naples, Italy) archaeological district. *Journal of Cave and Karst Studies*. 2012;74(3):243–250.
- [13] Шарипова М.Ю. Водоросли карстовых пещер заповедника Шульган-Таш (Южный Урал, Россия) // Альгология. 2001. Т. 11. С. 441–450.
Sharipova MYu. Algae of karst caves of the Shulgan-Tash nature reserve (South Ural, Russia). *Algologia*. 2001;11:441–450. (In Russ.)

- [14] Lamprinou V, Pantazidou A, Papadogiannaki G, Radea C, Economou-Amilli A. Cyanobacteria in Leontari Cave. *Fottea*. 2009;9(1):155–164.
- [15] Martinez A, Asencio AD. Distribution of Cyanobacteria at the Gelada Cave (Spain) by physical parameters. *Journal of Cave and Karst Studies*. 2010;72(1):11–20.
- [16] Czerwik-Marcinkowska J. Observations on aerophytic cyanobacteria and algae from ten caves in the Ojców national park. *Acta Agrobotanica*. 2013;66(1):39–52.
- [17] Popović S, Simić GS, Stupar M, Unković N, Jovanović J, Grbić ML. Cyanobacteria, algae and microfungi present in biofilm from Božana Cave (Serbia). *International Journal of Speleology*. 2015;44:141–149.
- [18] Macedo MF, Miller AZ, Dionísio A, Saiz-Jimenez C. Biodiversity of cyanobacteria and green algae on monuments in the Mediterranean Basin: an overview. *Microbiology*. 2009;155:3476–3490.
- [19] Selvi B, Altuner Z. Algae of Ballica Cave (Tokat-Turkey). *International Journal of Natural and Engineering Sciences*. 2007;1(3):99–103.
- [20] Poulickova A, Hasler P. Aerophytic diatoms from caves in central Moravia (Czech Republic). *Preslia*. 2007;79(2):185–204.
- [21] Smith TA, Olson R. Taxonomic Survey of Lamp Flora (Algae and Cyanobacteria) in Electrically Lit Passages within Mammoth Cave National Park, Kentucky. *International Journal of Speleology*. 2007;36(2):105–114.
- [22] Lamprinou V, Danielidis DB, Pantazidou A, Oikonomou A, Economou-Amilli A. The show cave of Diros vs. wild caves of Peloponnese, Greece – distribution patterns of Cyanobacteria. *International Journal of Speleology*. 2014;43(3):335–342.
- [23] Mulec J, Kosi G, Vrhovšek D. Characterization of cave aerophytic algae communities and effects of irradiance levels on production of pigments. *Journal of Cave and Karst Studies*. 2008;70(1):3–12.
- [24] Mulec J, Vaupotic J, Walochnik J. Prokaryotic and eukaryotic airborne microorganisms as tracers of microclimatic changes in the underground (Postojna Cave, Slovenia). *Environmental Microbiology*. 2012;64:654–667.
- [25] Czerwik-Marcinkowska J, Mrozińska T. Epilithic algae from caves of the Krakowsko-Czestochowska upland (Southern Poland). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2009; 78(4):301–309.
- [26] Mulec J, Kubešová S. Diversity of bryophytes in show caves in Slovenia and relation to light intensities. *Acta Carsologica*. 2010;39(3):587–596.
- [27] Puglisi M, Kürschner H, Privitera M. Phytosociology and life syndromes of bryophyte communities from Sicilian caves, a clear example of relationship between bryophytes and environment. *Plant Sociology*. 2018;55(1):3–20.
- [28] Мазина С.Е., Концевова А.А., Юзбеков А.К. Фотосинтезирующие виды пещеры Новоафонская, развивающиеся в условиях искусственного освещения // Естественные и технические науки. 2015. Т. 88. № 10. С. 162–171.
Mazina SE, Kontsevova AA, Yuzbekov AK. Photosynthetic species of the Novoafonskaya cave developing in the conditions of artificial lighting. *Natural and Technical Sciences*. 2015;88(10):162–171. (In Russ.)
- [29] Pentecost A, Zhaohui Z. The distribution of plants in Scoska Cave, North Yorkshire, and their relationship to light intensity. *International Journal of Speleology*. 2001;30(1):27–37.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 16.05.2020

Дата принятия к печати: 17.06.2020

Для цитирования:

Мазина С.Е., Попкова А.В. Распределение фотосинтезирующих видов в пещерах гротового типа разных регионов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 275–284. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-275-284>

Сведения об авторе:

Мазина Светлана Евгеньевна, старший научный сотрудник химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; доцент кафедры экологического мониторинга и прогнозирования экологического факультета Российского университета дружбы народов. E-mail: conophytum@mail.ru

Попкова Анна Владимировна, ассистент кафедры экологического мониторинга и прогнозирования экологического факультета Российского университета дружбы народов. E-mail: popkova_av@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-275-284

Scientific article

Distribution of photosynthetic species in grotto type caves of different regions

Svetlana E. Mazina^{1,2}✉, Anna V. Popkova²

¹*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskiye Gory, bldg 3, Moscow, 119991, Russian Federation*
²*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

✉ conophytum@mail.ru

Abstract. The article discusses the ecological significance of the phototrophic communities developing in entrance zone of grotto type caves as ecotones and refugiums. Species intrazonality and the dependence of cave species' composition on geographic location were considered. The aim of present study was to identify similar caves of different regions based on the species composition of phototrophic communities using own data and data from literature. The empiric basis for investigation was present by phototrophic species lists of own studies conducted by standard methods for phototrophic species identification, as well as species lists from literature. The most frequently encountered phototrophs were species *Chroococcus minutus* and *Chlorella vulgaris*. Their occurrence in all the studied caves was revealed based on the taxonomic analysis. Thus, the intrazonal nature of the flora developed in grotto type caves is partially confirmed. Cluster analysis applying Euclidean distance was used to estimate similarity of the phototrophic communities developed in grotto caves of various genesis. Four clusters were identified: cretaceous caves of the Voronezh region; limestone grottoes of Ukraine and Abkhazia; monastic cells of Moldova and Ukraine; caves of Italy and Hungary. The dependence of the phototrophs biodiversity on the composition of the rocks and the genesis of the cavities was established. The geographical trend of photosynthetic species distribution in the grotto type caves was revealed.

Keywords: cyanobacteria, algae, hypogean habitats, grottoes

Article history:

Received: 16.05.2020

Revised: 17.06.2020

For citation:

Mazina SE, Popkova AV. Distribution of photosynthetic species in grotto type caves of different regions. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):275–284. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-275-284>

Bio notes:

Svetlana E. Mazina, senior research fellow of the Faculty of Chemistry of the Lomonosov Moscow State University; Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring and Forecasting of the Ecological Faculty of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: conophytum@mail.ru

Anna V. Popkova, assistant of the Department of Environmental Monitoring and Forecasting of the Ecological Faculty of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: popkova_av@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-285-292

UDC 591.524.12

Scientific article

Diversity and abundance of copepods on the north coast of Angola during hot season 2014–2016

Ivania Janilda da Silvae Castro^{1✉}, Paulo André de Sousa Coelho²,
Elena A. Vanisova¹

¹*Peoples' Friendship Russian University (RUDN University),*

8 Podolskoye Shosse, bldg 5, Moscow, 115093, Russian Federation

²*National Institute for Fisheries and Marine Research,*

Murtala Mohamed Ave, Ilha de Luanda, Luanda, 2601, Republic of Angola

✉ ivaniacastro@hotmail.com

Abstract. The present work is aimed at discovering the diversity and abundance of copepods in the zooplankton community on the north coast of Angola, during the hot season 2014–2016. The samples were collected during the research cruise on board the Norwegian research ship “Dr. Fridtjof Nansen” in February – March on the Congo River and Luanda monitoring lines. Zooplankton sampling was performed using a multinet net in an oblique trawl (2014) and a WP2 net in a vertical trawl (2015 and 2016), both with 180 µm mesh. The samples were fixed in 4% formaldehyde and analyzed in the oceanography laboratory of the National Institute of Fisheries and Maritime Research in Angola. In the three years of sampling, copepods were present in the zooplankton community. The diversity of copepods on the northern Angolan coast, from 2014 to 2016 in the hot season, included 27 genera corresponding to 19 families. The Copepoda class was the most abundant group in the zooplankton community, corresponding to more than 80% of the abundance, having been represented by the orders Calanoida, Cyclopoida and Harpacticoida.

Keywords: zooplankton, north coast, Angola, copepods, zooplankton abundance, diversity

Introduction

Zooplankton corresponds to the set of heterotrophic planktonic organisms, belonging to several groups in the animal kingdom, thus comprising an immensity of organisms of different shapes and dimensions, uni- and multicellular [1]. In general, zooplankton occupies a key position in the aquatic food chain, as it is responsible for secondary productivity and for the transport and regeneration of nutrients through its high metabolism [2; 3]. The main zooplanktonic groups include ciliates, cnidarians, ctenophores, pteropods, crustaceans, pelagic tunicates (salps, doliolids, appendicularians), chaetognaths and fish larvae [3; 4].

Crustaceans are generally the dominant group in zooplankton communities [3–5], and among them copepods predominate. Copepoda is the most abun-



dant member of the marine plankton [1; 6; 7], and consequently the dominant holoplanktonic form corresponding to about 90–97% of zooplanktonic biomass. Most copepods are marine, however, there are many freshwater species and others in soil water films. There are also many parasitic species of various marine and freshwater animals, particularly fish [8]. As most copepods feed on phytoplankton, they are the main link between phytoplankton and the upper trophic levels of the marine food chain and an important part of the diet of many marine animals is composed of copepods [8; 9].

Knowing the diversity of copepods in zooplankton communities is relevant due to the ecological importance of copepods, added to the fact that they are identified as the most abundant components of zooplankton. The northern region of the Angolan coast is one of the two zones of high zooplankton concentration in Angolan sea waters [10], and our study on the diversity of the Copepoda class serves to complement this information.

The main purpose of the work was to study the composition of copepods within the zooplankton community on the north coast of Angola during the hot season (February – March) 2014–2016. The following specific objectives were defined: to describe the diversity of copepods in the zooplankton community and to determine dominance of orders; determine the abundance of copepods in the zooplankton community during the study period.

Materials and methods

The study area corresponds to the northern part of the Angolan coast (5°S–9°S) and includes the Congo River Monitoring Line (RCML) and the Luanda Monitoring Line (LDML) (Figure 1). The zooplankton samples were collected during the cruises exploring the marine resources of Angola, on board the Norwegian research ship “Dr. Fridtjof Nansen”, in the 3 periods of the hot season: February 3 to March 5, 2014; February 14 to March 23, 2015; February 25 to March 26, 2016.

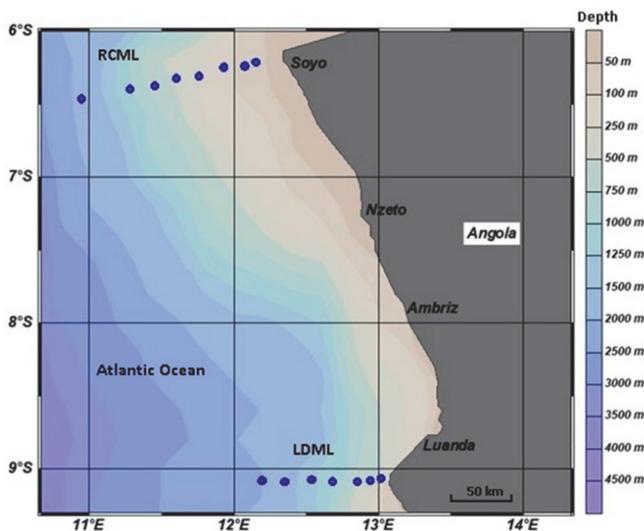


Figure 1. Study area – northern coast of Angola. The dots indicate the sampling locations (stations): RCML – Congo river monitoring line; LDML – Luanda monitoring line

Source: data of the National Institute for Fisheries and Marine Research.

In each monitoring line the stations were approximately 10–30 km apart. Zooplankton sampling was performed using a multinet net in an oblique trawl (2014) and a WP2 net in a vertical trawl (2015 and 2016), both with 180 µm mesh. The multinet contains 5 nets, and the samples were collected at five depth intervals (0–25, 25–50, 50–75, 75–100 and 100–200 m), in contrast, WP2 corresponds to a unique type of network sampling. In all, 83 samples were collected (Table 1).

Sample analysis included laboratory processing according to accepted methods [6], and quantitative and qualitative data analysis. Abundance (No. org./m³) was calculated using the formula [11]: $N = n / v$, where n – number of organisms from each taxon in the sample, and v – volume of filtered water during drag. Dominance was calculated according to the formula [12]: $Ar = N \times 100\% / Na$, where N – number of organisms from each taxon in the sample, and Na – sum of the total number of organisms in the sample. The zooplankton biomass was determined using the gravimetric method of fresh weight [13].

Table 1

Number of stations and samples collected in the northern part of the Angolan coast during the hot season, 2014–2016

Line	2014		2015		2016	
	Stations	Samples	Stations	Samples	Stations	Samples
RCML	8	30	6	6	7	11
LDML	7	23	7	7	6	6
Total	15	53	13	13	13	17

Results and discussion

Below, the diversity of copepods (systematic classification) of the zooplankton community in the period under study, according to Boltovskoy [7], and Ruppert and Barnes [8], as well as the analysis of the dominance of orders are represented. None of the registered organisms have been identified to their species. The symbols indicate the year in which the organization was registered, respectively: * – 2014; ● – 2015; ◆ – 2016.

Kingdom: Animalia Linnaeus, 1758

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Crustacea

Class: Copepoda

Order: Calanoida Sars, 1903

Family: Calanidae Dana, 1849

Genus: *Calanoides* *◆

Genus: *Calanus* *◆

Genus: *Nannocalanus* *◆

Family: Paracalanidae Giesbrecht, 1892

Genus: *Paracalanus* ◆

Genus: *Calocalanus* ◆

Family: Eucalanidae Giesbrecht, 1892

Genus: *Eucalanus* *◆

Genus: *Pareucalanus* *◆

- Genus: *Rhincalanus* *●◆
- Genus: *Subeucalanus* *●◆
- Family: Clausocalanidae Giesbrecht, 1892
 - Genus: *Clausocalanus* ●
- Family: Aetideidae Giesbrecht, 1892
 - Genus: *Aetideus* *●◆
- Family: Euchaetidae Giesbrecht, 1892
 - Genus: *Euchaeta* *●◆
 - Genus: *Paraeuchaeta* ●
- Family: Augaptilidae Sars, 1905
 - Genus: *Haloptilus* *●◆
- Family: Metridinidae Sars, 1902
 - Genus: *Metridia* *●◆
 - Genus: *Pleuromamma* *●◆
- Family: Centropagidae Giesbrecht, 1892
 - Genus: *Centropages* *●◆
- Family: Temoridae Giesbrecht, 1892
 - Genus: *Temora* *●◆
- Family: Candaciidae Giesbrecht, 1892
 - Genus: *Candacia* *●◆
- Family: Pontellidae Dana, 1953
 - Genus: *Labidocera* *
- Family: Lucicutiidae Sars, 1902
 - Genus: *Lucicutia* ◆
- Family: Acartiidae Sars, 1903
 - Genus: *Acartia* *●◆
- Family: Scolecitrichidae
 - Genus: *Scolecithrix* ●◆
- Order: Cyclopoida Burmeister, 1834
 - Family: Oithonidae Dana, 1853
 - Genus: *Oithona* Baird, 1843 *●◆
 - Family: Oncaeidae Giesbrecht, 1892
 - Genus: *Oncaea* *●◆
 - Family: Sapphirinidae Thorell, 1859
 - Genus: *Sapphirina* *
 - Family: Corycaeidae Dana, 1852
 - Genus: *Corycaeus* Dana, 1846 *●◆
- Order: Harpacticoida Sars, 1903 *●◆

The diversity of copepods included 27 genera corresponding to 19 families. Regarding the abundance, in three years sampling, both in the Congo monitoring line and in the Luanda line, copepods were the most abundant organisms, corresponding to more than 80% of the zooplankton community's abundance. Table 2 indicates the abundance of copepods within the zooplankton community in the period under study.

The results obtained by us agree with the previously described results by several authors about the great abundance of copepods in zooplanktonic sampling.

Ruby [14], and André [15] obtained the same results in the study area of Angolan coast. The Copepoda class was represented by the orders: Calanoida, Cyclopoida and Harpacticoida. Figure 2 illustrates the dominance of Copepoda class orders in the 2014–2016 period. The “NI” category corresponds to the larval stages (copepodites and nauplii).

Table 2

Copepods abundance (No. org./m³) in zooplankton community on the north Angolan coast, 2014–2016

Monitoring line	Year	2014	2015	2016
RCML				
Zooplankton community		83 091	7917	8743
Copepods		68 608,4	6884	8214
LDML				
Zooplankton community		60 757	22 843	17 856
Copepods		53 378	19 354	15 276
Zooplankton community (both lines included)		143 849	30 760	26 600

Source: data of the National Institute for Fisheries and Marine Research.

The order Calanoida was the dominant order on the north coast of Angola in the period 2015–2016. The order includes the genera *Calanus* (genus dominant on the Congo line in 2015 and Luanda line in 2016) and *Calanoides* (dominant genus on the Luanda line in 2015). Free-living and predominantly planktonic copepods [8], the order is the most successful of Copepoda's orders. Its success is due to the colonization of the entire pelagic environment, both in marine and freshwater ecosystems and saline lagoons [16]. They are rarely found in associations with other animals. Many species consume phytoplankton, others, predators, feed on a wide variety of prey [17].

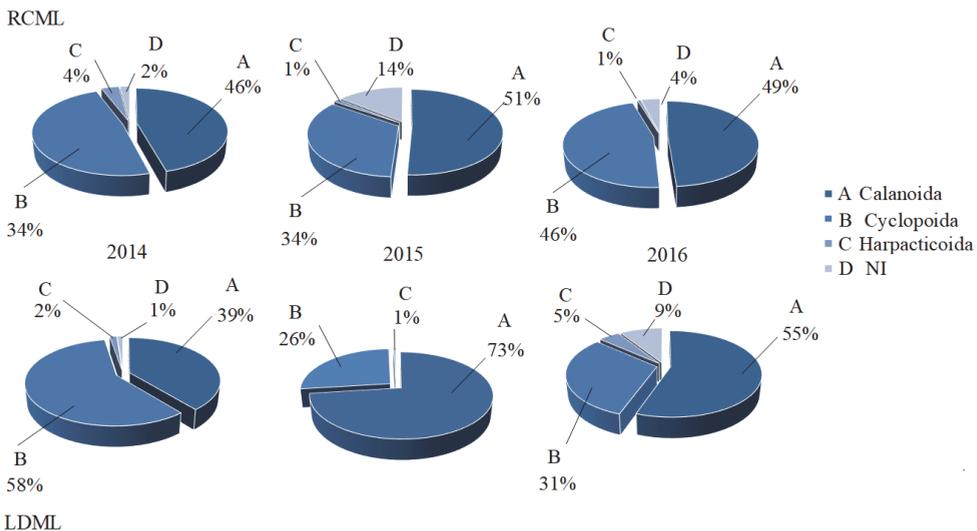


Figure 2. Dominance of orders in Copepoda class on the north coast of Angola, 2014–2016

Source: data of the National Institute for Fisheries and Marine Research.

The order Cyclopoida was the second in terms of dominance. The order has planktonic and benthic, marine, and freshwater representatives. It includes some parasites [8]. Cyclopoida is the most abundant and successful order among copepods in freshwater ecosystems [17]. The Oncaeidae family is considered one of the most abundant in oceanic communities [17]. The genus *Oncaea* (dominant genus in 2014 in both monitoring lines and in the Congo river line in 2016) belongs to this order.

The order Harpacticoida had a low representativeness in the study area. Mainly constituted by benthic or epibenthic organisms with a pelagic minority [8; 9; 17], harpacticoides are adapted to marine, freshwater, and even semi-terrestrial habitats such as wet plants and decomposing leaves [18].

Conclusion

As previously described about the zooplankton community, the largest percentage of zooplankton abundance is attributed to copepods. In the northern part of the Angolan coast, Copepoda class was represented by the orders Calanoida, Cyclopoida and Harpacticoida.

References

- [1] Ré P. (ed.). *Ecologia-Marinha (Sebenta)*. Lisboa, Portugal; 2005.
- [2] Bradford-Grieve J, Hugget J. *Guide to some common copepods in the Benguela current LME*. Zooplankton Workshop, January 2007. Swakopmund, Namibia; 2007.
- [3] Harris RP, Wiebe PH, Lenz J, et al. (ed.). *ICES Zooplankton Methodology Manual*. California, USA: Academic Press; 2000.
- [4] Yoneda NF. (ed.). *Plâncton*. Paraná, Brasil: Centro de estudos do mar-Universidade Federal do Paraná; 1998.
- [5] Raymond JEG. *Plankton and productivity in the oceans. Vol. 2. Zooplankton*. 2nd ed. Oxford: Pergamon Press; 1983.
- [6] Boltovskoy D. (ed.). *Atlas del zooplancton en el Atlantico sudoccidental y metodos de trabajos con el zooplancton marino*. Buenos Aires, Argentina: Mar del Plata-INIDE; 1981.
- [7] Boltovskoy D. (ed.). *South Atlantic zooplankton. Vols. 1, 2*. Leiden, the Netherlands: Backhuys Publishers; 1999.
- [8] Ruppert EE, Barnes RD. *Zoologia dos Invertebrados*. 6^a edição. São Paulo, Brasil: Editora Rocca; 1996.
- [9] Castellani C, Edwards M. (eds.). *Marine Plankton: A practical guide to ecology, methodology, and taxonomy*. Oxford: Oxford University Press; 2017.
- [10] Da Silva AJ, Ruby C, Fernandes B. *Revisão da investigação realizada na área do zooplâncton em águas marinhas de Angola*. Luanda, Angola; 2005.
- [11] Newell GH, Newell RC. *Marine Plankton: a practical guide*. London, Paris: Hutchinson Educational Ltd; 1963.
- [12] Lobo E, Leighton G. Estructura Comunitária de los Fitocenosis Planctonicos de los Sistemas de Desembocadura de Rios y Esteros de la Zona Central de Chile. *Revista Biología Marina – Valparaiso*. 1986;22(1):1–29.
- [13] Omori M, Ikeda T. *Methods in marine zooplankton ecology*. New York, USA: John Wiley & Sons; 1984.
- [14] Ruby CRPA. *Influência da Dinâmica Sazonal da Frente Angola – Benguela Sobre a Comunidade Zooplânctônica ao largo da costa angolana em 2007* (dissertação). Luanda, Angola: Universidade Agostinho Neto; 2010.

- [15] André MCS. *Análise da comunidade zooplancônica da costa norte de Angola e sua relação com os parâmetros hidrográficos com ênfase ao redor do Rio Congo*. Luanda, Angola: Universidade Agostinho Neto; 2011.
- [16] Fosshagen A, Boxshall GA, Iliffe TM. The Epacteriscidae, a cave-living family of calanoid copepods. *Sarsia*. 2001;86:245–318.
- [17] Huys R, Boxshall GA. *Copepod Evolution*. London, Paris: The Ray Society; 1991.
- [18] Pesce GL. *Introduction to copepods*. Available from: <http://www.luciopesce.net/copepods/intro.htm> (accessed: 03.02.2020).

Article history:

Received: 22.05.2020

Revised: 15.06.2020

For citation:

Castro IJS, Coelho PAS, Vanisova EA. Diversity and abundance of copepods on the north coast of Angola during hot season 2014–2016. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):285–292. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-285-292>

Bio notes:

Ivania Janilda da Silva Castro, master's student of the Department of System Ecology of the Faculty of Ecology of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: ivaniacastro@hotmail.com

Paulo André de Sousa Coelho, Master in Sciences of the Sea and Coastal Zones, Head of the Department of Oceanography and Health of the Marine Ecosystem of the National Institute for Fisheries and Marine Research. E-mail: poolcoelho@gmail.com

Elena A. Vanisova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of System Ecology of the Faculty of Ecology of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: vanhelen@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-285-292

Научная статья

Разнообразие и численность копепод на северном побережье Анголы в жаркий сезон 2014–2016 гг.

И.Ж.С. Кастро¹✉, П.А.С. Коэльо², Е.А. Ванисова¹

¹Российский университет дружбы народов,

Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8, корп. 5

²Национального института рыбного хозяйства и морских исследований,
Республика Ангола, 2601, Луанда, Илья де Луанда, пр-кт Мурталы Мухаммеда

✉ ivaniacastro@hotmail.com

Аннотация. Обсуждается разнообразие и численность копепод в сообществе зоопланктона у северного побережья Анголы в жаркий сезон 2014–2016 гг. Образцы зоопланктона были собраны во время рейсов на борту норвежского исследовательского судна Dr. Fridtjof Nansen в феврале – марте на линиях мониторинга Луанды и реки Конго.

Пробы зоопланктона отбирали с использованием мультисетевой системы – наклонный трал (2014) и сети WP2 – вертикальный трал (2015, 2016), обе с размером ячеи 180 мкм. Образцы закрепляли в 4%-м формальдегиде и анализировали в океанографической лаборатории Национального института рыбного хозяйства и морских исследований (INIPM) в Анголе. Копеподы присутствовали в сообществе зоопланктона все три года исследований. Веслоногие ракообразные у северного побережья Анголы в жаркий сезон 2014–2016 гг. были представлены 27 родами, относящимися к 19 семействам. Класс Copepoda оказалась самой многочисленной группой зоопланктона, составляя более 80 % общей численности сообщества, и представлен тремя отрядами: Calanoida, Cyclopoida и Harpacticoida.

Ключевые слова: зоопланктон, северное побережье, Ангола, копеподы, численность зоопланктона, разнообразие

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 22.05.2020

Дата принятия к печати: 15.06.2020

Для цитирования:

Castro I.J.S., Coelho P.A.S., Vanisova E.A. Diversity and abundance of copepods on the north coast of Angola during hot season 2014–2016 // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 285–292. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-285-292>

Сведения об авторах:

Кастро Ивани Жанилда да Силвае, магистрант кафедры системной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов. E-mail: ivaniacastro@hotmail.com

Коэльо Пауло Андре де Соуза, магистр наук о море и прибрежных зонах, заведующий отделом океанографии и здоровья морской экосистемы Национального института рыбного хозяйства и морских исследований. E-mail: poolcoelho@gmail.com

Ванисова Елена Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры системной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов. E-mail: vanhelen@mail.ru

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ENVIRONMENTAL DEFENCE

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-293-304

УДК 528.737

Научная статья

Влияние формы и размера маркированных точек на точность фотограмметрических построений

А. Елшештави^{1,2}✉, Л.А. Гаврилова²,
А.Н. Лимонов², М. Елшеви^{1,2}

¹Университет Аль-Азхар,

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

²Государственный университет по землеустройству,

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

✉ amrshesht82@gmail.com

Аннотация. В настоящее время материалы, полученные с беспилотного летательного аппарата (БПЛА), используются для решения многих задач, в том числе крупномасштабного картографирования и наблюдения за линейными объектами, включая экологическую обстановку и мониторинг аварийных ситуаций. Оперативно получаемые фотоматериалы позволяют выявить последствия техногенного воздействия человека, связанные с деградацией почвенного покрова, подтоплением земель, засолением и загрязнением почвенного слоя, изменением растительного покрова. В большинстве проектов фотограмметрической обработки аэрофотоснимков и снимков, полученных с БПЛА, для геодезического ориентирования создаваемых моделей используются опорные точки. В районах с малой контурностью перед проведением лётно-съёмочных работ маркируют точки в необходимых зонах. Исследование посвящено изучению влияния формы наземных маркеров на точность фотограмметрических построений. Рассматривались три различных типа наземных маркеров, расположенных на земной поверхности вдоль трассы съёмки на расстоянии, не превышающем 1 м друг от друга. Маркированные точки использовались в качестве опорных точек при фотограмметрической обработке материалов маршрутной фотосъёмки с БПЛА. Были выполнены две трехмаршрутные фотосъёмки трассы длиной 900 м: с БПЛА DJI PHANTOM 4 PRO камерой FC6310 в масштабе 1:3400 и разрешением на местности 1 см и с БПЛА DJI Mavic PRO камерой FC220 в масштабе 1:12 700 и разрешением на местности 2 см. В обоих случаях направление полета север – юг, в фотограмметрическую обработку включены 36 маркированных точек. В первом случае в обработке участвовали 502 снимка, во втором – 152. Обработка фотоснимков с целью создания ортофотоплана производилась с использованием программного обеспечения Agisoft Photo Scan Professional. Были выбраны четыре различных по контрастности участка в

районе исследования: зеленая трава, сухая трава, глина и песок. Оценка точности проводилась по двум критериям: 1) степени визуализации маркированной точки на снимках; 2) точности ортофотоплана, построенного с использованием различных маркированных точек.

Ключевые слова: маркированные точки, опорные точки, разрешение на местности, беспилотный летательный аппарат

Введение

Развитые страны постоянно сталкиваются с высокой стоимостью обслуживания устаревших линейных объектов, таких как транспортные магистрали, трубопроводы. Развитие автомобильной, нефтяной и газовой промышленности и сопутствующий экономический рост породили спрос на более безопасные и эффективные и менее перегруженные магистрали [1]. Для наилучшего проектирования трасс автомагистралей, трубопроводов, а также для проведения экологического мониторинга их состояния необходимы высокоточные как в плане, так и по высоте цифровые модели местности [2]. Для получения топографической информации используются различные методы: фотограмметрическая обработка аэро- и космических снимков, а также снимков с БПЛА, обработка данных радарной и лидарной съемки, современные и традиционные методы наземных топографических съемок.

Одним из наиболее важных параметров аэросъемки является пространственное разрешение (GSD – Ground Sample Distance). Оно определяется как размер проекции пикселя съемочной системы на земной поверхности. Пространственное разрешение GSD зависит от разрешающей способности съемочной камеры и масштаба съемки.

Снимки, полученные с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), используются для создания фотограмметрической продукции: цифровых моделей рельефа Digital Terrain Models (DTMs), цифровых моделей поверхности Digital Elevation Models (DEMs), 3D-моделей, ортофотопланов и т. д.

При создании этой продукции для геодезического ориентирования фотограмметрических моделей используются опорные точки (GCP – Ground Control Points), надежно отождествляемые на снимках и имеющие известные пространственные координаты (X, Y, Z).

В районах, где не может быть обеспечено надежное опознавание на аэроснимках точек местности, используемых в качестве опорных, перед аэрофото съемкой должна быть выполнена маркировка точек планово-высотного обоснования [3; 4]. Маркировочные знаки должны иметь форму креста, квадрата или круга. В инструкциях [3; 4] указано, что для маркировки следует использовать материалы белого цвета, если фон окружающего ландшафта темный, зеленый или серый. При светлом фоне ландшафта применяются черные материалы.

Размеры маркировочных знаков определяются в зависимости от масштаба фотографирования так, чтобы изображения на аэрофотоснимке знаков белого или желтого цвета были не менее 0,10 мм (сторона квадрата или диаметр круга). У знака темного цвета размер должен быть в 1,5 раза больше, чем у знака белого цвета.

Видимые на изображениях маркированные точки, используемые в качестве опорных, позволяют производить более точное геодезическое ориен-

тирование и, как следствие, получать фотограмметрическую продукцию (DTM, DEM, 3D-модели, ортофотопланы) большей точности [5–7], если только не используется метод прямого геопозиционирования без каких-либо опорных точек [7; 8].

В данном исследовании дизайн и размер маркированных точек разработаны таким образом, чтобы они были надежно отождествляемы и достаточно крупными на изображениях. Таким образом, выбор дизайна маркированной точки зависит от масштаба получаемых снимков. Кроме того, при выборе положения маркированных точек на земной поверхности следует избегать затененных участков.

Определение координат маркированных опорных точек осуществлялось с помощью GPS-аппаратуры в режиме кинематики в реальном времени (RTK), опорные точки равномерно распределялись по трассе полета [9; 10].

Задачей исследования является оценка влияния типа маркированных точек на точность фотограмметрических построений и в итоге на точность фотограмметрической продукции. Рассматриваются три типа наземных маркеров. Для фотограмметрической обработки материалов съемки с БПЛА использовалось специализированное программное обеспечение Agisoft Photo Scan Professional.

Методика

Исследования проводились на научно-учебной базе «Горное» Государственного университета по землеустройству, расположенной на юге Московской области. Площадь съемки 900×90 м.

Аэросъемка производилась с использованием БПЛА двух типов: DJI PHANTOM 4 PRO и DJI Mavic PRO (рис. 1).



Рис. 1. DJI PHANTOM 4 PRO (слева) и DJI Mavic PRO (справа)
[Figure 1. DJI PHANTOM 4 PRO (left) and DJI Mavic PRO (right)]

В первом случае с БПЛА DJI PHANTOM 4 PRO проведена трехмаршрутная съемка и получены 502 изображения. Маршруты длиной 900 м проложены с севера на юг. Высота фотографирования 30 м. Разрешение на местности составило 1 см.

Во втором случае съемка производилась с БПЛА DJI Mavic PRO, было получено 152 изображения. Средняя высота фотографирования 60 м. Разрешение на местности составило около 2 см. В исследовании использованы 36 наземных контрольных точек, равномерно распределенных по всей области исследования.

Экспериментальные работы и результаты

Маркированные точки (маркеры) были изготовлены из белого пластика в форме кругов диаметром 20 см. На рис. 2 изображены три различных типа использованных маркеров.



Тип А [Type A]

Тип В [Type B]

Тип С [Type C]

Рис. 2. Различные типы маркеров
[**Figure 2.** Three different types of targets]



Зеленая трава [Green grass]



Серая сухая трава [Gray dry grass]



Почти черная глина [Almost black clay]



Светло-серый песок [Light gray sand]

Рис. 3. Четыре различных по контрастности участка и расположение на них маркеров
[**Figure 3.** The four different sites and distribution of GCPs]

Тип А представляет собой черное пятно диаметром 3 см в центре белой круглой мишени. Тип В – четыре черно-белых треугольника в круглой мишени. Тип С – белое пятно диаметром 3 см в центре черной круглой мишени.

В исследуемой области были выбраны четыре участка земной поверхности, отличающихся по контрастности с маркерами: зеленый (зеленая трава), серый (сухая трава), почти черный (глина) и светло-серый (песок). Группы из трех различных типов маркеров распределялись на каждом из четырех участков на расстоянии около 2 м друг от друга. Четыре различных по контрастности участка и расположение маркеров на каждом из них показаны на рис. 3.

Дополнительные маркеры только типа А (черное пятно диаметром 3 см в центре белого круга) были распределены группами по три маркера по всей области исследования. Группы по три маркера расположены через каждые 60–70 м с севера на юг вдоль направления маршрутов по всей длине 900 м. В каждой группе из трех маркеров расстояние между ними составляло 15–20 м с востока на запад.

Исследование влияния формы наземных маркеров на точность фотограмметрических построений состояло из двух этапов: оценки визуализации различных типов маркеров и оценки точности фотограмметрических построений в зависимости от типа используемых маркированных точек.

Визуальное качество наземного контрольного пункта будет иметь решающее значение для обеспечения точности всего проекта. Маркеры должны быть достаточно большими, визуально контрастными и достаточно точными, чтобы их можно было видеть с высоты с большой точностью. Поэтому для маркеров типа А и С диаметр пятна составляет 3 см, что в 3 раза больше среднего GSD на высоте 30 м полета. В таблице показана оценка видимости центра наземного маркера на изображениях (высота полета 30 м). Качеству видимой центральной точки маркера на изображениях было присвоено значение от одного (для самого низкого значения) до пяти (для лучшего значения).

Из таблицы видно, что для маркеров типа А и В наилучшая визуализация достигается, если в качестве подстилающей поверхности выступает сухая серая трава. Для маркеров типа С наилучшей подстилающей поверхностью является сухая серая трава и почти черная глина. В центральной части снимка достигается наилучшая визуализация для всех типов маркеров и на всех подстилающих поверхностях, как и следовало ожидать.

Средние значения качества видимости центра наземных маркеров для типов А, В и С соответственно составляют: на зеленом участке (зеленая трава) – 2,6; 4,6 и 4,6; на участке серой сухой травы – 3,2; 5,0 и 5,0; на почти черном (глина) участке – 2,4; 4,4 и 5,0; на участке светло-серого песка – 2,2; 4,0 и 4,6. Кроме того, общая средняя оценка качества видимости центра наземных маркеров составляет 2,6; 4,5 и 4,8 для типов А, В и С соответственно. Таким образом, маркер типа А является наихудшим из трех используемых на четырех разных типах поверхности в районе исследования.

Если фон представляет собой поверхность с высокой отражательной способностью (светло-серый песок, зеленая трава), то качество видимости

всех типов маркеров снижается. С другой стороны, лучший фон для всех типов маркеров – серая (сухая) трава. Кроме того, маркер типа А является худшим маркером, поскольку это небольшое черное пятно в центре белого круга в отличие от маркера типа С.

Таблица

Оценка визуализации центра наземного маркера на изображениях, полученных с высоты фотографирования 30 м
 [Table. The evaluation of seeing the center of ground target in images, 30 m flight altitude]

Вид поверхности, на которой расположен маркер [Color of ground around target]	Положение маркера на изображении [Position of target in image]	Оценка визуализации центра наземного маркера по пятибалльной шкале [Quality of seeing the center of ground target using a five-point scale]		
		Tup A [Type A]	Tup B [Type B]	Tup C [Type C]
		Черное пятно в белом круге [Black spot in white target]	Черно-белые треугольники [Black and white triangles target]	Белое пятно в черном круге [White spot in black target]
Зеленая трава [Green grass]	Верх [Top]	3	5	5
	Низ [Bottom]	3	5	5
	Центр [Center]	3	5	5
	Край [Edge]	2	4	4
	Угол [Corner]	2	4	4
	Средняя оценка [Average]	2,6	4,6	4,6
Серая сухая трава [Gray dry grass]	Верх [Top]	3	5	5
	Низ [Bottom]	3	5	5
	Центр [Center]	4	5	5
	Край [Edge]	3	5	5
	Угол [Corner]	3	5	5
	Средняя оценка [Average]	3,2	5,0	5,0
Почти черная глина [Almost black clay]	Верх [Top]	2	4	5
	Низ [Bottom]	3	4	5
	Центр [Center]	3	5	5
	Край [Edge]	2	5	5
	Угол [Corner]	2	4	5
	Средняя оценка [Average]	2,4	4,4	5,0
Светло-серый песок [Light gray sand]	Верх [Top]	2	4	5
	Низ [Bottom]	2	4	4
	Центр [Center]	3	5	5
	Край [Edge]	2	4	5
	Угол [Corner]	2	3	4
	Средняя оценка [Average]	2,2	4,0	4,6
Общая средняя оценка [Overall average score]		2,6	4,5	4,8

Видимость центра наземного маркера на изображениях с разрешением на местности 2 см наихудшая для всех типов маркеров. В этом случае для маркеров типа А и С диаметр пятна равен полутора кратному среднему значению GSD. Когда для маркеров типа А и С диаметр пятна равен трехкратному среднему значению GSD, центральное пятно надежно отождествляется на цифровых изображениях.

Можно сделать вывод, что всегда маркеры типа В и С видны лучше, чем маркеры типа А, во всех тестах, когда сравнение относится к среднему числу ошибок. Более того, лучшими являются маркеры типа В, худшими – типа А. Наилучшим фоном, в отличие от блестящего фона (светло-серый песок и зеленая трава), являются небликующие темные поверхности (сухая серая трава и черная глина). К тому же маркеры, которые находятся в центре изображений, видны лучше, чем находящиеся в углах или на краях изображений.

Для оценки точности фотограмметрических построений было проведено несколько экспериментов по уравниванию фототриангуляционной сети, построенной по снимкам масштаба 1:3400 с пространственным разрешением 1 см.

Тест 1. Использование трех типов маркеров (А, В и С) в качестве 36 опорных точек.

Тест 2. Использование маркеров только типа А: в качестве опорных точек 4 маркера, в качестве контрольных точек – 24. Маркеры типа В и С не использовались при геопривязке или оценке точности.

Тест 3. Использование маркеров только типа В: в качестве опорных точек 4 маркера, в качестве контрольных точек – 24. Маркеры типа А и С не использовались при геопривязке или оценке точности.

Тест 4. Использование маркеров только типа С: в качестве опорных точек 4 маркера, в качестве контрольных точек – 24. Маркеры типа А и В не использовались при геопривязке или оценке точности.

Оценка точности фотограмметрических построений производилась традиционным способом по разностям координат (X, Y, Z) контрольных точек, полученных из GPS-наблюдений и в результате фототриангуляционных построений, по формулам (1).

$$\begin{aligned} V_{Xi} &= X_{Ti} - X_{Gi}, \\ V_{Yi} &= Y_{Ti} - Y_{Gi}, \\ V_{Zi} &= Z_{Ti} - Z_{Gi}, \end{aligned} \quad (1)$$

где V_{Xi} , V_{Yi} , V_{Zi} – невязка в координатах X; Y; Z точки i соответственно; X_{Ti} , Y_{Ti} , Z_{Ti} – координаты точки i , полученные из фототриангуляции; X_{Gi} , Y_{Gi} , Z_{Gi} – координаты точки i , полученные из GPS-наблюдений.

Среднеквадратическая погрешность координат (X, Y, Z) контрольных точек рассчитана по формуле Гаусса (2).

$$\begin{aligned} M_X &= \sqrt{((\sum_{(i=1)}^n (V_{Xi})^2) / n)}, \\ M_Y &= \sqrt{((\sum_{(i=1)}^n (V_{Yi})^2) / n)}, \\ M_Z &= \sqrt{((\sum_{(i=1)}^n (V_{Zi})^2) / n)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Общая среднеквадратическая погрешность M в координатах контрольных точек рассчитана по формуле (3).

$$M = \sqrt{(M^2_X + M^2_Y + M^2_Z)}. \quad (3)$$

Рис. 4 иллюстрирует зависимость остаточных расхождений в координатах 36 опорных точек при геодезическом ориентировании фототриангуляционной сети с использованием различных типов маркеров и расположенных на разном фоне (тест 1). На нем видно, что наихудшим фоном для рас-

смаатриваемых типов марок является светло-серый песок, а предпочтительным – серая сухая трава. Наихудший тип марок – тип А, тип В – наилучший.

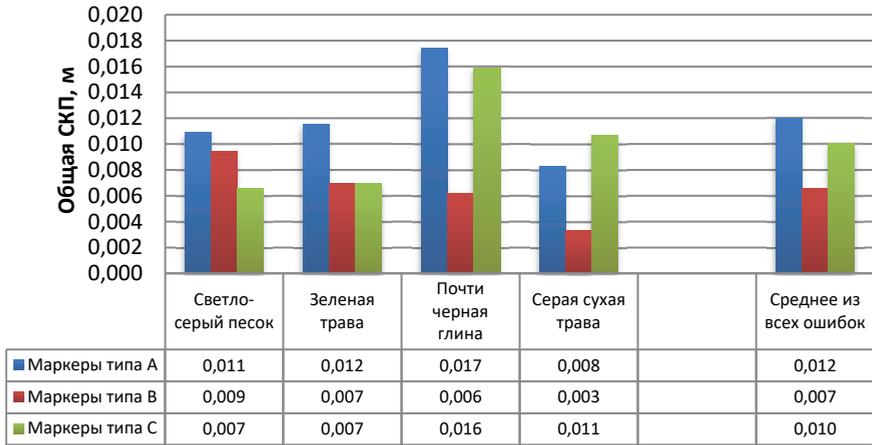


Рис. 4. Остаточные расхождения в координатах 36 опорных точек (тест 1)

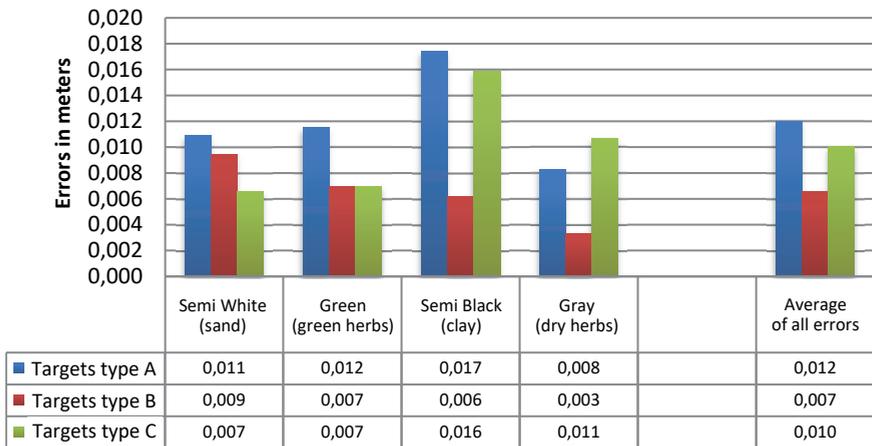


Figure 4. Errors when using selected targets as part of 36 GCPs in georeferencing (test 1)

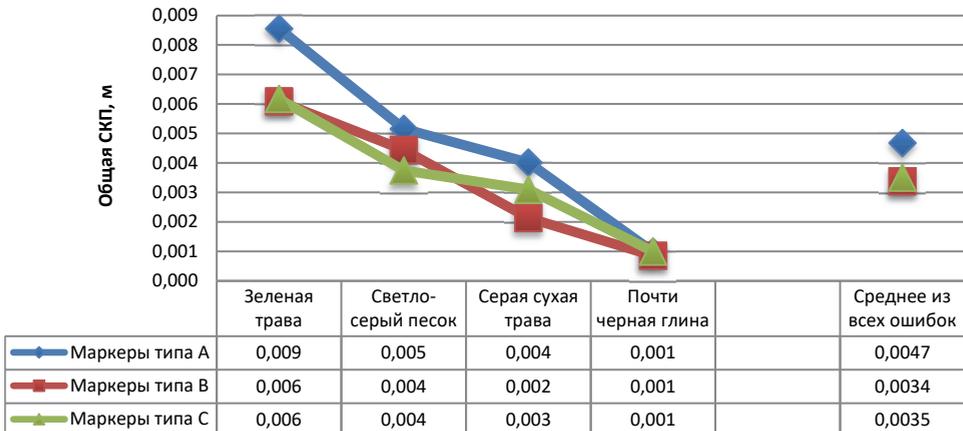


Рис. 5. Ошибки при использовании только выбранных маркеров в качестве опорных точек (тесты 2, 3, 4)

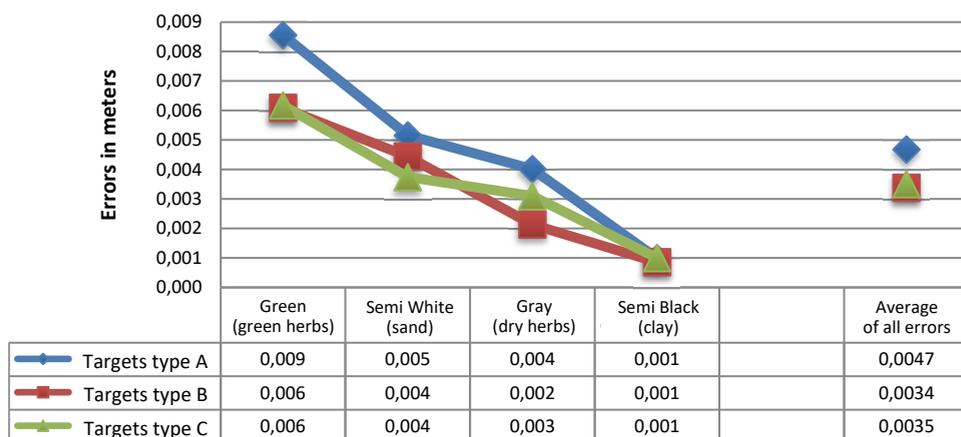


Figure 5. Errors when using only selected targets as GCPs (tests 2, 3, 4)

Рис. 5 иллюстрирует зависимость средней квадратической погрешности (СКП) координат контрольных точек от типа используемых маркеров и вида подстилающей поверхности. Марки типа А на зеленой траве – наихудший вариант. Наименьшая СКП в координатах контрольных точек достигается при использовании маркеров типа В на почти черной глине.

Заключение

Использование маркированных точек в качестве опорных повышает точность фотограмметрических построений.

Точность измерения координат маркированных точек на изображении зависит от цветового контраста маркированной точки и окружающего ее фона, типа рисунка маркера, размера рисунка маркера в соответствии с разрешением на местности.

Маркеры с четырьмя черными и белыми треугольниками в круглой мишени лучше, чем маркеры в виде черного круга с белым пятном диаметром 3 см в центре. Однако маркеры в виде черного круга с белым пятном диаметром 3 см в центре лучше, чем маркеры в виде черного пятна того же диаметра в центре белого круга. При этом диаметр центрального пятна должен быть больше GSD не менее чем в 3 раза.

Кроме того, следует избегать блестящего или бликующего фона, на котором размещаются маркированные точки.

Список литературы / References

- [1] Jaal Z, Abdullah J. User's preferences of highway landscapes in Malaysia: a review and analysis of the literature. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*. 2012;36;265–272.
- [2] Albattah MMS. Optimum highway design and site location using spatial geoinformatics engineering. *Journal of Remote Sensing & GIS*. 2016;5(1):10.
- [3] Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1:10000 и 1:25000. М.: Недра, 1978
Instruktsiya po topograficheskim s'emkam v masshtabakh 1:10000 i 1:25000 [Instructions for topographic surveys at scales 1:10000 and 1:25000]. Moscow: Nedra Publ.; 1978. (In Russ.)

- [4] Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000. М.: Недра, 1983.
Instruktsiya po topograficheskoi s"emke v masshtabakh 1:500, 1:1000, 1:2000 i 1:5000 [Instructions for topographic survey at scales 1:500, 1:1000, 1:2000 and 1:5000]. Moscow: Nedra Publ.; 1983. (In Russ.)
- [5] Wang J, Ge Y, Heuvelink GB, Zhou C, Brus D. Effect of the sampling design of ground control points on the geometric correction of remotely sensed imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs.* 2012;18:91–100.
- [6] Hugenholtz CH, Whitehead K, Brown OW, Barchyn TE, Moorman BJ, LeClair A, Riddell K, Hamilton T. Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically derived digital terrain model. *Geomorphology*. 2013;194:16–24.
- [7] Patias P, Giagkas F, Georgiadis C, Mallinis G, Kaimaris D, Tsioukas V. Evaluating horizontal positional accuracy of low-cost UAV orthomosaics over forest terrain using ground control points extracted from different sources. Proceedings of the International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, International Society for Optics and Photonics, Paphos, Cyprus, 20–23 March 2017; p. 104440U.
- [8] Turner D, Lucieer A, Wallace L. Direct georeferencing of ultrahigh-resolution UAV imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2014;52:2738–2745.
- [9] Wells RR, Momm HG, Castillo C. Quantifying uncertainty in high-resolution remotely sensed topographic surveys for ephemeral gully channel monitoring. *Earth Surf. Dyn.* 2017;5:347.
- [10] Propeller. Available from: <https://www.propelleraero.com/aeropoints/> (accessed: 10.08.2018).

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 11.09.2020

Дата принятия к печати: 30.09.2020

Для цитирования:

Елиештави А., Гаврилова Л.А., Лимонов А.Н., Елиевы М. Влияние формы и размера маркированных точек на точность фотограмметрических построений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 293–304. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-293-304>

Сведения об авторах:

Елиештави Амр, аспирант кафедры дистанционного зондирования и цифровой картографии Государственного университета по землеустройству; преподаватель кафедры гражданского строительства инженерного факультета в Каире Университета Аль-Азхар. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0668-2375>; eLIBRARY SPIN-код: 9609-4694. E-mail: amrshesht82@gmail.com

Гаврилова Лариса Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, декан факультета городского кадастра Государственного университета по землеустройству. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7095-3224>; eLIBRARY SPIN-код: 7343-7078. E-mail: gavrilova.a.larisa@gmail.com

Лимонов Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры дистанционного зондирования и цифровой картографии Государственного университета по землеустройству. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4382-5200>; eLIBRARY SPIN-код: 1561-8711. E-mail: limonov.anatoly@gmail.com

Елиевтави Мохамед, аспирант кафедры геодезии и геоинформатики Государственного университета по землеустройству; преподаватель кафедры гражданского строительства инженерного факультета в Каире Университета Аль-Азхар. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8367-207X>; eLIBRARY SPIN-код: 8872-1494. E-mail: mimoelshewy@gmail.com

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-293-304

Scientific article

Influence of the shape and size of the ground targets on the accuracy of photogrammetric processing

Amr Elsheshtawy^{1,2}✉, Larisa A. Gavrilova²,
Anatoly N. Limonov², Mohamed Elshewy^{1,2}

¹*Al-Azhar University,
15 Mohammed Abdou St, El-Darb El-Ahmar, Cairo Governorate, Arab Republic of Egypt*
²*State University of Land Use Planning,
15 Kazakova St., Moscow, 105064, Russian Federation*
✉ amrshesht82@gmail.com

Abstract. The materials obtained from the unmanned aerial vehicle (UAV) are used to solve many problems, including large-scale mapping and monitoring of linear objects, as well as the ecological situation and monitoring of emergency situations. The promptly obtained photographic materials make it possible to reveal the consequences of man-made human impact associated with degradation of the soil cover, flooding of lands, salinization and pollution of the soil layer, and changes in the vegetation cover. Control points are used for absolute orientation of the generated models in the most projects of photogrammetric processing of aerial photos and images obtained from UAVs. In areas with low contour, before aerial survey, targeting is carried out in the required zones. The research is devoted to the study of the influence of the shape of ground targets on the accuracy of photogrammetric processing. It involved three different types of ground targets located on the land cover along the survey path at a distance not exceeding 1 m from each other. The targets were used as ground control points in the photogrammetric processing of the materials from the UAV. Two three-stripe photographic surveys of the 900 m long track were carried out: with UAV DJI PHANTOM 4 PRO camera FC6310 at a scale of 1:3400 and ground resolution of 1 cm and with the DJI Mavic PRO UAV camera FC220 at a scale of 1:12 700 and ground resolution of 2 cm. In both cases, the direction of flight is north – south, 36 targets were included in the photogrammetric processing. In the first case, 502 images were processed, in the second – 152. The photogrammetric processing for the orthophoto mosaic generation was carried out using the Agisoft Photo Scan Professional software. Four different contrasting sites in the study area were selected for the study: green grass, dry grass, clay, sand. Accuracy was assessed according to two criteria: 1) the degree of visualization of the target on the images; 2) the accuracy of the orthophoto mosaic, generated using various targets.

Keywords: ground targets, control points, ground resolution, unmanned aerial vehicle

Article history:

Received: 11.09.2020

Revised: 30.09.2020

For citation:

Elsheshtawy A, Gavrilova LA, Limonov AN, Elshewy M. Influence of the shape and size of the ground targets on the accuracy of photogrammetric processing. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):293–304. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-293-304>

Bio notes:

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

Larisa A. Gavrilova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Urban Cadaster of the 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

Anatoly N. Limonov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Remote Sensing and Digital Cartography of the 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

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

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, предназначенных для опубликования в научном журнале «Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности»

1. Текст статьи должен быть набран на компьютере в текстовом редакторе Microsoft Word через 1,5 интервала шрифтом Times New Roman (размер шрифта 14 пт) на стандартных листах А4 (поля слева – 3 см, справа – 1 см, сверху и снизу – по 2,5 см). Объем статьи (вместе с таблицами, иллюстрациями и библиографией) не должен превышать 12 страниц.

2. Статья должна содержать в указанном порядке:

– название статьи; имена, отчества и фамилии авторов; полное название организации и ее структурного подразделения с указанием почтового адреса (страна, почтовый индекс, город, улица, № дома), аннотацию (5–7 строк) и ключевые слова (не менее 5 слов или словосочетаний);

– название статьи; инициалы и фамилии авторов; полное название организации и ее структурного подразделения с указанием почтового адреса (№ дома, улица, город, почтовый индекс, страна), аннотацию (до 200–250 слов) и ключевые слова (не менее 5 слов или словосочетаний) **на английском языке**;

– текст статьи;

– список литературы (сначала – на русском языке, затем – на английском). **Список литературы должен быть переведен на английский язык и продублирован латинскими буквами.**

3. К статье должны быть приложены сведения об авторах – полные имя, отчество, фамилия, ученая степень, научное звание, место работы, электронный адрес.

Образец шапки статьи:

Состояние антиокислительных систем в крови мышей после облучения

И.И. Иванов¹✉, П.П. Петров²

¹*Российский университет дружбы народов,
Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8, корп. 5*

²*Московский государственный университет,
Российская Федерация, 119899, Москва, Ленинские горы, д. 1*

✉ ivanov_ii@example.ru

4. Повторение в статье одних и тех же данных в аннотации, тексте, таблицах и графиках не допускается. Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы; в тексте статьи ссылка на них обязательна. Таблицы должны иметь заголовок, а рисунки – подрисуночную подпись. В виде отдельных графических файлов рисунки принимаются в форматах .tif, .bmp, .jpg.

5. Следует ограничиваться общепринятыми сокращениями и избегать введения новых сокращений без достаточных оснований. Введенные сокращения необходимо расшифровывать.

6. Ссылки на литературу в тексте статьи приводятся в квадратных скобках, например [2] или [5–7], [5. С. 15].

В списке литературы приводятся только источники, на которые в тексте статьи имеются ссылки. Ссылки в списке располагаются и нумеруются по мере упоминания в тексте. В списке литературы должны быть указаны:

– для книг: фамилии и инициалы авторов, название книги, место издания, издательство, год издания;

– для статей из неперидических изданий (сборников): фамилии и инициалы авторов, название статьи, название книги (сборника), место издания, издательство, год издания;

– для статей из периодических изданий: фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год издания, том и номер журнала, первая и последняя страницы статьи.

Образец:

Список литературы

- [1] *Бонд В.В.* Сравнительная клеточная и видовая радиочувствительность. М.: Атомиздат, 1974. С. 5–17.
- [2] *Роун Ш.* Озоновый кризис. М.: Мир, 1993.
- [3] *Connor M.J., Wheeler L.A.* Depletion of cutaneous glutathione by ultraviolet radiation // Photochem. Photobiol. 1987. Vol. 46. No. 2. Pp. 239–245.

Контактная информация:

Редина Маргарита Михайловна

Телефон: +7 (495) 952-04-41

E-mail: redina-mm@rudn.ru

Силаева Полина Юрьевна

E-mail: silaeva-pyu@rudn.ru