



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

Том 25 № 4 (2017)
DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4
<http://journals.rudn.ru/ecology>

Научный журнал
Издается с 1993 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61176 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 РУДН

Члены редакционной коллегии

Калабин Геннадий Александрович — доктор химических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии экологического факультета РУДН

Никольский Александр Александрович — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии экологического факультета РУДН

Хаустов Александр Петрович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры прикладной экологии экологического факультета РУДН

Хуторской Михаил Давыдович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной экологии экологического факультета РУДН

Валерио Агнесси — директор Итало-Российского экологического Университета Палермо (Италия)

Леонардо Гатто — профессор Университета Палермо (Италия)

Зоренко Татьяна Анатольевна — кандидат биологических наук, профессор биологического факультета Латвийского университета

Седов Сергей Николаевич — профессор Института геологии UNAM (Мексика)

Чен Хи — заместитель директора Хунаньского Центра по борьбе с болезнями и профилактике (Китай)

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

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

ISSN 2408-8919 (online); ISSN 2313-2310 (print)

4 выпуска в год (ежеквартально).

Языки: русский, английский.

Индексация: РИНЦ, ВАК, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Cyberleninka.

Цель и тематика

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

Компьютерная верстка: *О.Г. Горюнова*

Адрес редакции:

ул. Орджоникидзе, д. 3, Москва, Россия, 115419

Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: ipk@rudn.university

Адрес редакционной коллегии серии «Экология и безопасность жизнедеятельности»:

Подольское шоссе, д. 8/5, Москва, Россия, 113093

Тел.: (495) 952-70-28; E-mail: ecojournalrudn@rudn.university

Подписано в печать 15.11.2017. Выход в свет 30.12.2017. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «NewtonС».

Усл. печ. л. 11,29. Тираж 500 экз. Заказ № 1595. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. (495) 952-04-41; e-mail: ipk@rudn.university



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

VOLUME 25 NUMBER 4 (2017)
DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4
<http://journals.rudn.ru/ecology>
Founded in 1993

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

EDITOR-IN-CHIEF

Redina Margarita Mikhailovna — Doctor of Economics, Head of Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

EDITORIAL BOARD

Kalabin Gennady Alexandrovich — Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of System Ecology Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

Nikolsky Alexander Alexandrovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of System Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

Khaustov Alexander Petrovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

Khutorskoy Michael Davydovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

Valerio Agnessi — Director of Italian-Russian Environmental University of Palermo (Italy)

Leonardo Gatto — Professor of the University of Palermo (Italy)

Zorenko Tatiana Anatolievna — Habilitated Doctor of Biological Sciences, Professor of the Biological Faculty of the University of Latvia

Sedov Sergey Nikolaevich — Professor of the Institute of Geology UNAM (Mexico)

Cheng Hui — Deputy Director of the Huang Chinese Center for Disease Control And Prevention

Wan Zhenzhin — 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 in China

RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY.
Published by the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

ISSN 2408-8919 (online); ISSN 2313-2310 (print)

4 issues per year.

Languages: Russian, English.

Indexing: RSCI, HAC, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Cyberleninka

Aim 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 aim of the journal "Bulletin of Russian Peoples Friendship University. Series: Ecology and Life Safety". Since 1993 the results of fundamental and applied research of scientists, professors, post-graduate 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:

The main headings of the journal are ecology, the safety of human activity, environmental defence, human ecology, biogeochemistry, geoecology, biological resources and problems of environmental education.

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

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

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

Editor *M.P. Malakhov*

Computer design: *O.G. Gorunova*

Address of the editorial board:

Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

Ph. +7 (495) 955-07-16; e-mail: ipk@rudn.university

Address of the editorial board Series "Ecology and Life Safety":

Podolskoye shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

Tel. +7 (495) 952-70-28; E-mail: ecojournalrudn@rudn.university

Printing run 500 copies. Open price.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"Peoples' Friendship University of Russia"
6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russia

Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russia,
Ph. +7 (495) 952-04-41; e-mail: ipk@rudn.university

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ

- Наумов В.А., Ахмедова Н.Р.** Гидротермические условия Калининградской области 465
- Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С.** Эколого-геохимическая оценка состояния запечатанных почв Восточной Москвы 480
- Кьонг Тхе Нго, Золотокопова С.В.** Накопление тяжелых металлов прибрежной растительностью реки Шерепок..... 510
- Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А., Гавриленко В.В.** Мониторинг содержания ультрадисперсных аэрозолей в воздухе горнопромышленного региона 520
- Власов Д.В.** Металлы и металлоиды в частицах PM10 дорожной пыли Восточной Москвы 529

ЭКОЛОГИЯ

- Якимов А.В., Черчесова С.К., Львов В.Д., Залиханов К.Х., Койбаев Б.Г.** Пиявки (Hirudinea) в водных экосистемах национального парка «Приэльбрусье»..... 540

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Антонова Е.С.** Исследование процесса очистки воды от нефтепродуктов во флотационной установке с эжекционной системой аэрации с диспергатором 548

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х., Силаева П.Ю.** Проект экологического мониторинга кампуса Российского университета дружбы народов 562

ИСТОРИЯ НАУКИ

- Никольский А.А.** Выдающийся Российский эколог Николай Павлович Наумов 585

© Российский университет дружбы народов, 2017

CONTENTS

GEOECOLOGY

- Naumov V.A., Akhmedova N.R.** Hydrothermic conditions of Kaliningrad region 465
- Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaybrakmanov T.S.** Environmental and geochemical assessment of sealed soils in the Eastern Moscow 480
- Ngo The Cuong, Zolotokopova S.V.** Accumulation of heavy metals by coastal aquatic vegetation of the Sherepok River 510
- Radchenko D.N., Gadzhieva L.A., Gavrilenko V.V.** Monitoring of the content of ultradispersed aerosols in the air of the mining industrial region 520
- Vlasov D.V.** Metals and metalloids in PM10 Fraction of the road dust of Eastern Moscow 529

ECOLOGY

- Yakimov A.V., Cherchesova S.K., L'vov V.D., Zalihanov K.H., Kojbaev B.G.** Leeches (Hirudinea) in aquatic ecosystems of national park "Prielbrusye" 540

INDUSTRIAL ECOLOGY

- Antonova E.S.** Investigation of oily wastewater treatment process in a flotation set up with ejection system of aeration with disperser 548

ENVIRONMENTAL EDUCATION

- Khaustov A.P., Redina M.M., Aleynikova A.M., Mamadzhyanov R.Kh., Silaeva P.Yu.** Project of environmental monitoring of the Campus of Peoples' Friendship University of Russia 562

HISTORY EDUCATION

- Nikolsky A.A.** Outstanding Russian ecologist Nikolay Pavlovich 585

© Peoples' Friendship University of Russia, 2017



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-465-479

УДК 631, 632.95

ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Наумов, Н.Р. Ахмедова

Калининградский государственный технический университет
Советский пр., 1, Калининград, Россия, 236022

В последние годы, несмотря на различное отношение к данному вопросу, изменение климата во многих регионах мира очевидно. Общеизвестно, что все факторы окружающей среды взаимодействуют, влияют друг на друга, в той или иной степени. Прогнозируется, что действие изменяющихся климатических параметров будет особенно заметно в области сельского хозяйства, управления водными ресурсами. Существует необходимость в поисках сельскохозяйственных видов, адаптированных к новым условиям, для чего обязательно определение основных агроклиматических характеристик местности, так как по мнению многих ученых, именно они являются основным фактором размещения сельскохозяйственных культур. В данной работе, на основании имеющейся гидрометеорологической информации по метеостанции «Калининград», определены следующие показатели: сумма осадков (годовые и среднемесячные), гидротермический коэффициент (ГТК) (среднее многолетнее значение, внутригодовое распределение). Представлен порядок расчета такого показателя, как сумма осадков за период активной вегетации, с использованием современных информационных технологий. Гидротермический коэффициент определялся по методу, предложенному Г.Т. Селяниновым. Результаты расчетов позволяют говорить о том, что значения суммы осадков за период, когда среднесуточная температура воздуха превышает 10 °С, заметно превосходят показатели, установленные за более ранние периоды, гидротермический коэффициент практически не изменился. Кроме того, установлена зависимость между ГТК и урожайностью зерновых в хозяйствах Калининградской области.

Ключевые слова: агроклиматические характеристики, гидротермический коэффициент, сумма осадков, Калининградская область

Введение

Большое практическое значение имеют исследования зависимости роста, развития и урожайности культурных растений от основных климатических факторов. Количественные выражения этих зависимостей называют **агроклиматическими показателями** (например, сумма положительных температур, определяет даты наступления определенных фенологических фаз развития растений и характеризует общую потребность в тепле за период вегетации, количество влаги, необходимой для получения высокого урожая и др.).

Исследование распределения агроклиматических показателей по территории с учетом их повторяемости в определенных зонах за многолетний период позволяет определить степень соответствия потребностей различных сортов сельскохозяйственных культур существующим климатическим условиям.

Материалы и методы

Одним из наиболее часто используемых показателей является гидротермический коэффициент, который предложил в 1928 г. российский ученый Г.Т. Селянинов (1887—1966) [1]:

$$\text{ГТК} = R_{10}/(0,1\text{САТ}), \quad (1)$$

где САТ — сумма активных температур (сумма средних суточных температур воздуха за период, когда они превышали 10 °С), °С; R_{10} — сумма осадков за тот же период, мм. Считается, что величина САТ/10 близка к температуре испаряемости [1].

Традиционно ГТК используется для оценки многолетних условий увлажнения в различных районах [1—7]: при ГТК = 0,5 и менее, климат считается сухим, при ГТК = 0,6—1,0 — засушливым, при ГТК = 1,1—1,5 — влажным.

В последнее время стали анализировать среднемесячные значения ГТК_М, как показатель, влияющий на продуктивность различных сельскохозяйственных культур [8—14]. Так, исследователи в Польше и Литве [9; 10; 12] принимают следующую классификацию месячных климатических условий: ГТК_М ≤ 0,4 — чрезвычайно сухой; 0,4 < ГТК_М ≤ 0,7 — очень сухой; 0,7 < ГТК_М ≤ 1,0 — сухой; 1,0 < ГТК_М ≤ 1,3 — относительно сухой; 1,3 < ГТК_М ≤ 1,6 — оптимальный; 1,6 < ГТК_М ≤ 2,0 — относительно влажный; 2,0 < ГТК_М ≤ 2,5 — влажный; 2,5 < ГТК_М ≤ 3 — очень влажный; ГТК_М > 3 — экстремально влажный. На взгляд авторов, такие выводы следует тщательно проверять с помощью других агроклиматических характеристик, все-таки ГТК учитывает только атмосферное увлажнение, не принимая во внимание почвенные условия, накопление запасов продуктивной влаги и др. показатели.

В справочнике [2] приведены два агроклиматических района (табл. 1) Калининградской области с агроклиматическими характеристиками: большая часть относится ко второму району, первый — это северная часть области (подрайон 1а — побережье заливов, Калининградский полуостров; подрайон 1б — северо-восточная часть области).

Таблица 1

Агроклиматические характеристики Калининградской области [2]

Агроклиматический район	САТ, °С	Сумма осадков за V—IX месяцы, мм	ГТК
1а	2100—2250	320—350	1,5
1б	2200—2250	350—400	1,6—1,7
2	2250—2300	350—370	1,6

Table 1

Agroclimatic characteristics of the Kaliningrad region [2]

Agroclimatic district	The sum of active temperatures, °С	Total precipitation for the V—IX months, mm	HTC*
1а	2100—2250	320—350	1,5
1б	2200—2250	350—400	1,6—1,7
2	2250—2300	350—370	1,6

* HTC — hydrothermal coefficient.

По справочнику [3] вся территория области была отнесена к третьему агроклиматическому району (САТ = 2200—2300) с двумя подрайонами (рис. 1): 3а — западный (сумма осадков за вегетационный период 300—380 мм), 3б — восточный (350—400 мм).

Город Калининград по классификации справочника [2] на границе 1а и 2, а по классификации — [3] — в центре подрайона 3а. В работе [15] было показано существенное изменение продолжительности периода вегетации и суммы активных температур в районе г. Калининграда за последние 10 лет. Данная статья посвящена анализу изменений суммы осадков и ГТК на той же территории. Исходные данные предоставлены ВНИИ гидрометеорологической информации [16].

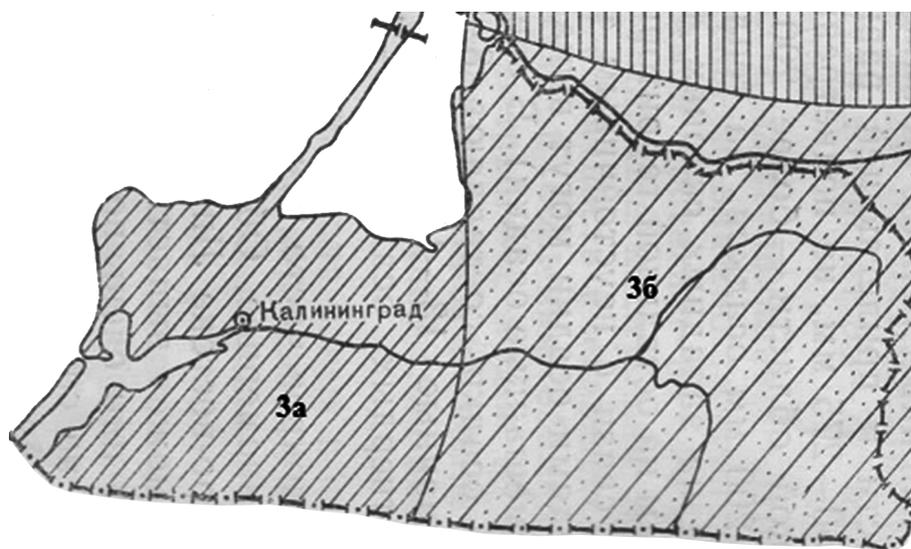


Рис. 1. Агроклиматические подрайоны Калининградской области [3]
[Fig. 1. Agroclimatic subareas of the Kaliningrad region [3]]

Результаты и их обсуждение

В работе [17] исследованы ряды сумм годовых осадков R и среднегодовых температур воздуха T в Кенигсберге-Калининграде за все время инструментальных наблюдений. Был сделан вывод о их существенном росте и внутригодовом перераспределении. На рисунках 2, 3 представлены ряды сумм годовых осадков и среднегодовых температур воздуха по метеостанции «Калининград» за российский период наблюдений: линейный тренд подтверждает возрастание как R , так и T .

На рисунках 4 и 5 представлены средние месячные суммы осадков и температуры воздуха по метеостанции «Калининград» за два тридцатилетних периода (в начале наблюдений и за последние годы). Наибольший рост осадков произошел за первые три месяца и в июне, заметное уменьшение осадков — в сентябре, меньшее — в апреле. Увеличение средней температуры отмечается во все месяцы, наиболее значительное в январе—апреле и в июле—августе.

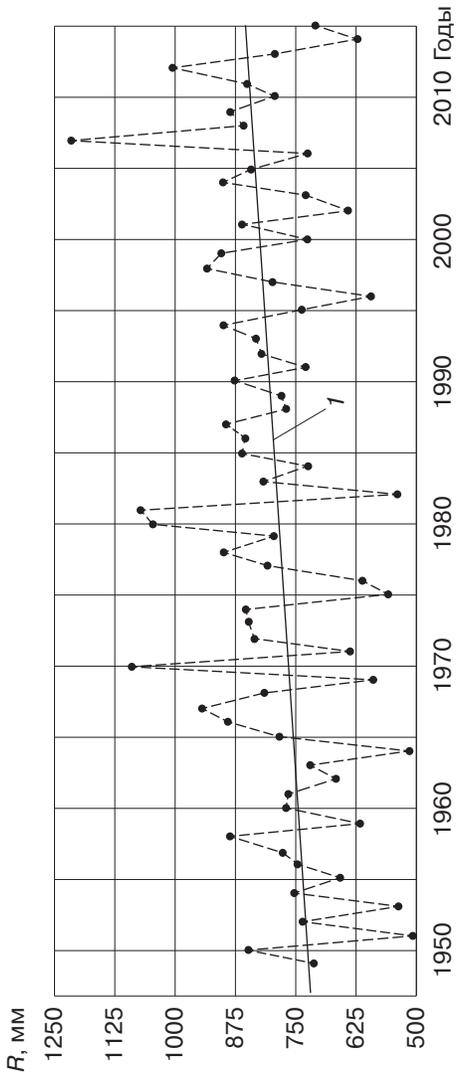


Рис. 2. Ряд сумм годовых осадков по метеостанции «Калининград» (№ 26702): 1 — линейный тренд

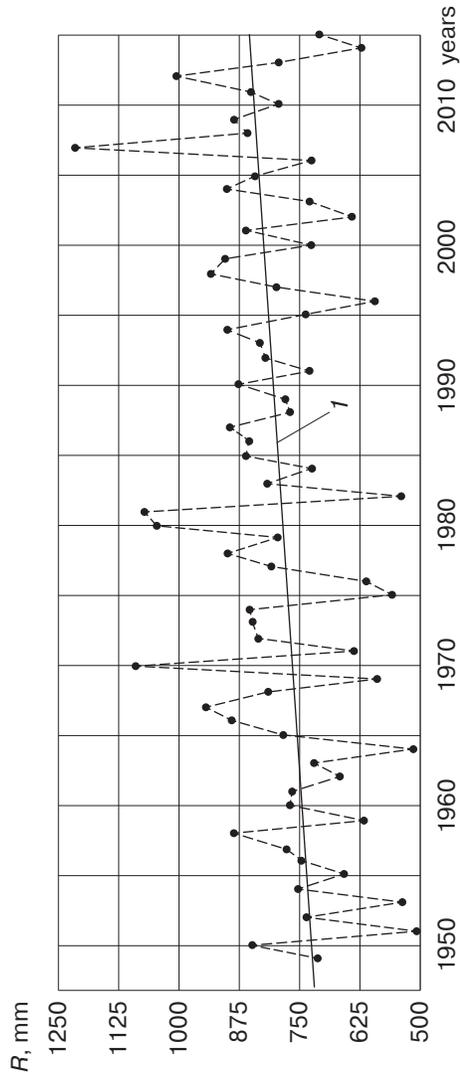


Fig. 2. Series of the annual sums of precipitation at the Kaliningrad weather station (№ 26702): 1 — linear trend

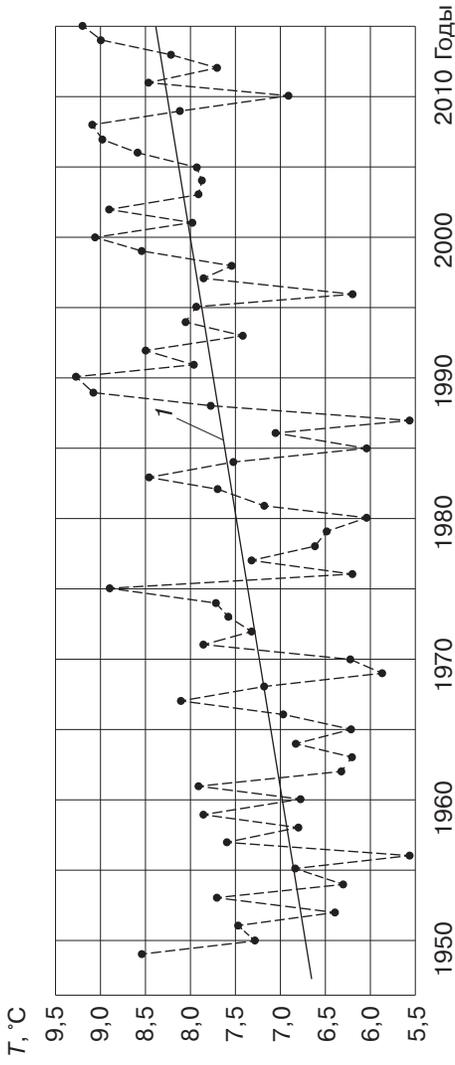


Рис. 3. Ряд средних годовых температур воздуха по метеостанции «Калининград» (№ 26702): 1 — линейный тренд

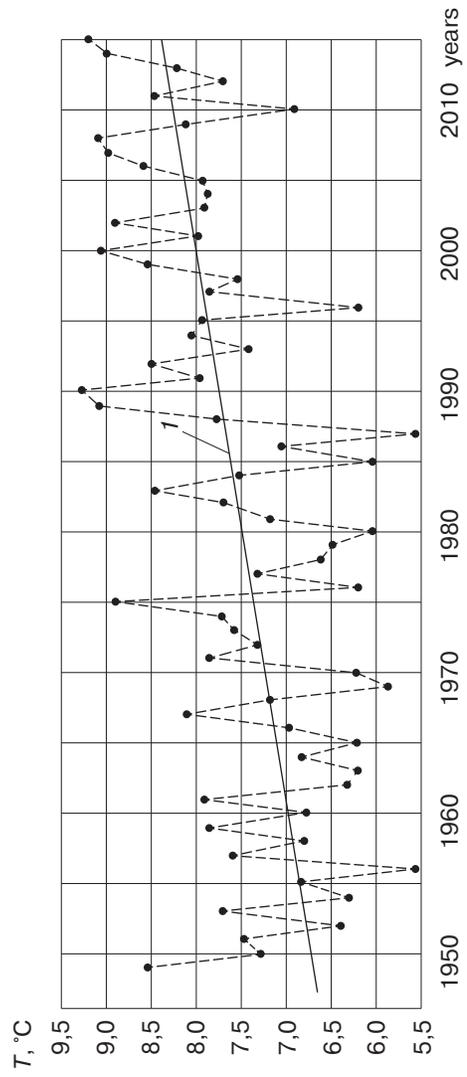


Fig. 3. Series of the average annual air temperatures at the Kaliningrad weather station (№ 26702): 1 — linear trend

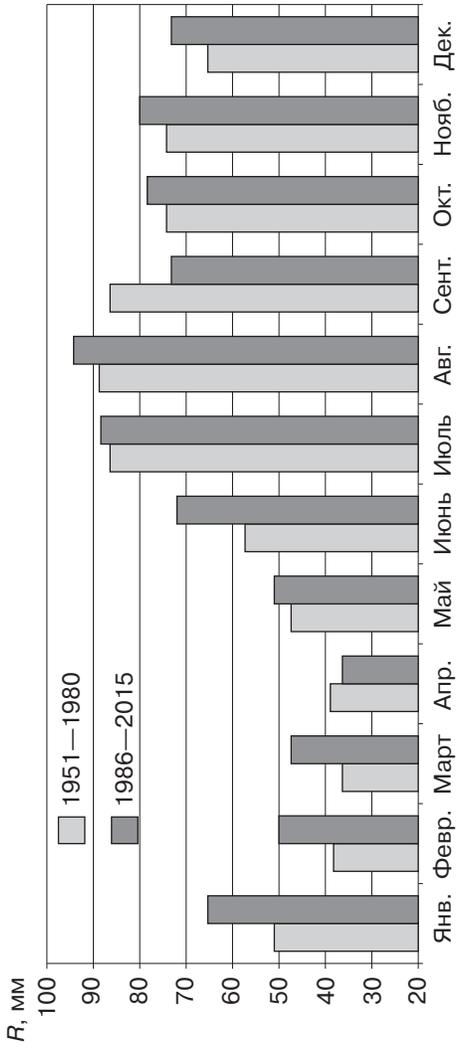


Рис. 4. Средние месячные суммы осадков по метеостанции «Калининград» (№ 26702)

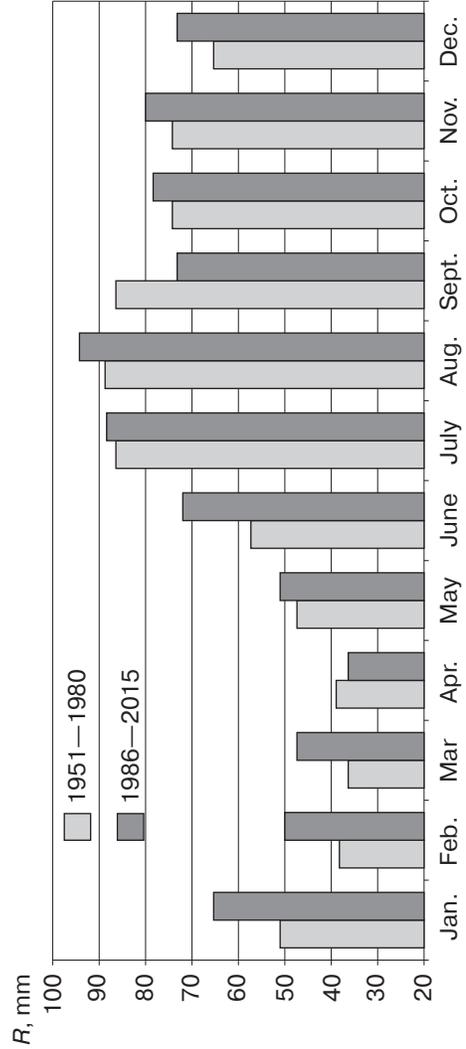


Fig. 4. Average monthly total precipitation at the Kaliningrad weather station (№ 26702)

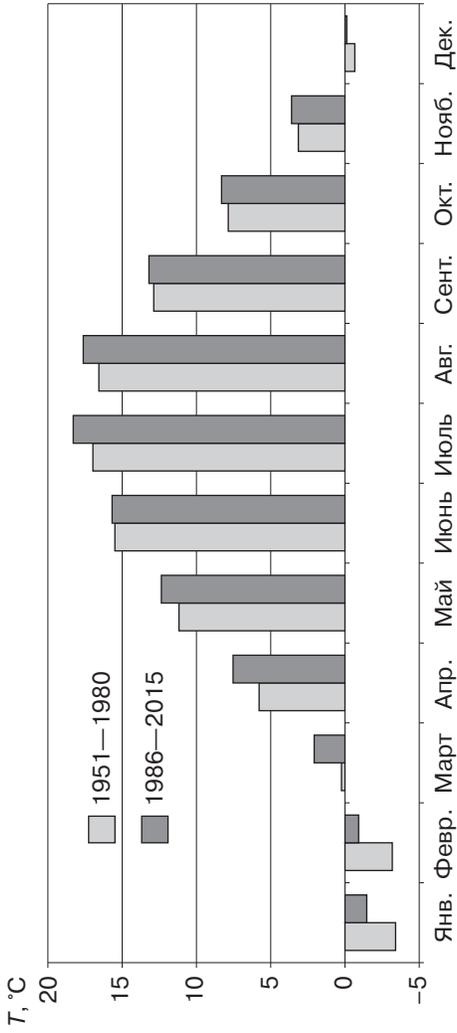


Рис. 5. Средние месячные температуры воздуха по метеостанции «Калининград» (№ 26702)

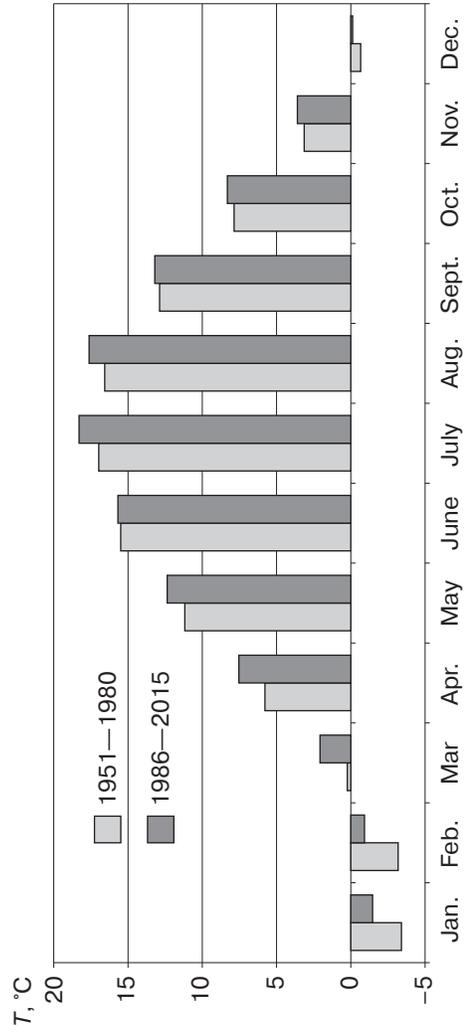


Fig. 5. Average monthly air temperature at the Kaliningrad weather station (№ 26702)

В таблице 2 приведены периоды с температурами воздуха выше 10 °С за последние 10 лет, рассчитанные в работе [15] суммы активных температур САТ, а также суммы осадков R_{10} и ГТК по выражению (1).

Рассчитанные значения заметно превосходят показатели [2; 3] по САТ и R_{10} , но, практически, идентичны по ГТК.

Таблица 2

Сумма осадков, САТ и ГТК за период активной вегетации

Год	Период с температурами выше 10 °С			САТ, °С	R_{10} , мм	ГТК
	начало	конец	количество суток			
2006	24.04	12.10	171	2846	366	1,278
2007	08.05	10.10	160	2489	683	2,744
2008	23.04	19.10	161	2611	334	1,279
2009	19.04	03.10	156	2628	383	1,457
2010	07.05	28.09	148	2473	406	1,642
2011	20.04	10.11	164	2782	503	1,808
2012	19.04	09.10	160	2601	574	2,207
2013	28.04	22.09	165	2570	396	1,541
2014	17.04	16.10	170	2803	352	1,256
2015	24.04	01.10	160	2444	269	1,101
Средние значения за 10 лет			161,5	2627	426,6	1,631

Table 2

The total precipitation, the sum of active temperatures and HTC for the period of active vegetation

Year	Period with temperatures above 10 °С			Sum of active temperatures, °С	R_{10} , mm	HTC
	start	end	number of days			
2006	24.04	12.10	171	2846	366	1,278
2007	08.05	10.10	160	2489	683	2,744
2008	23.04	19.10	161	2611	334	1,279
2009	19.04	03.10	156	2628	383	1,457
2010	07.05	28.09	148	2473	406	1,642
2011	20.04	10.11	164	2782	503	1,808
2012	19.04	09.10	160	2601	574	2,207
2013	28.04	22.09	165	2570	396	1,541
2014	17.04	16.10	170	2803	352	1,256
2015	24.04	01.10	160	2444	269	1,101
Average values over 10 years			161,5	2627	426,6	1,631

Уточненный способ расчета САТ описан в работе [15]. В прежних работах сумма осадков за период активной вегетации определялась довольно приблизительно. Например, в работе [2] за V—IX месяцы (см. табл. 1). Это связано с тем, что точный учет начала и конца периода весьма трудоемкая процедура. В настоящее время указанный расчет может быть проведен с использованием современных информационных технологий.

Сначала требуется определить даты начала и конца периода с температурами выше 10 °С усовершенствованным методом [15] по средним декадным темпера-

турам воздуха. Затем на Интернет-ресурсе [18] находим г. Калининград (или метеостанцию по нужному номеру), на странице «Архив погоды в Калининграде» открываем вкладку «Статистика погоды». Устанавливаем диапазон дат по таблице 2 (на рис. 6 для 2010 года). Выбираем «RRR — количество выпавших осадков, мм» и нажимаем на банер «Выполнить расчет». Появляется сумма осадков за указанный период. Повторяем процедуру для каждого года. Результаты занесены в таблицу 2.

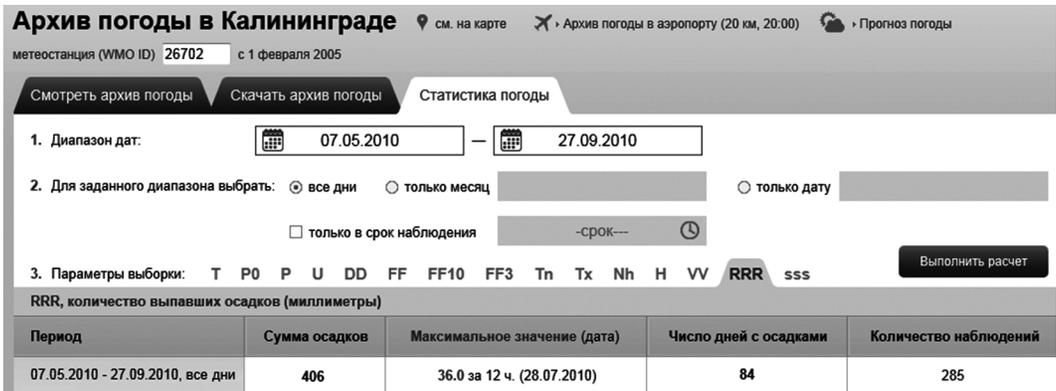


Рис. 6. On-line расчет суммы осадков за период активной вегетации
 [Fig. 6. On-line calculation of the precipitation amount during the period of active vegetation]

На рисунке 7 представлены результаты расчета ГТК по формуле (1) за российский период наблюдений на метеостанции «Калининград», на рисунке 8 — средние значения гидротермического коэффициента по месяцам (за два периода наблюдений). По рисунку 7 видно, что среднее многолетнее значение ГТК можно считать неизменным. Для растениеводства важно внутригодовое распределение гидротермических условий. По рисунку 8 наибольшее уменьшение ГТК_М отмечается в апреле и сентябре, увеличение — в июне.

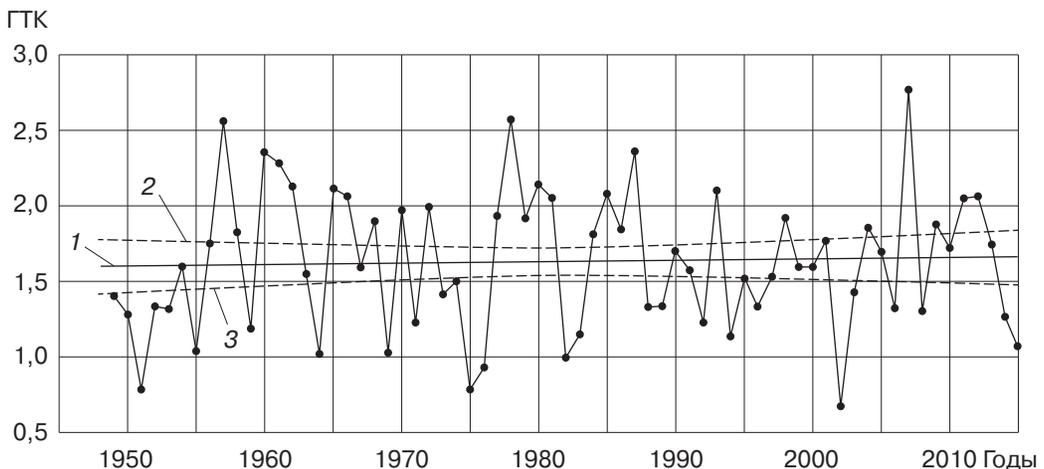


Рис. 7. ГТК по метеостанции «Калининград»: 1 — линейный тренд; 2, 3 — верхняя и нижняя границы доверительного интервала уравнения линейной регрессии

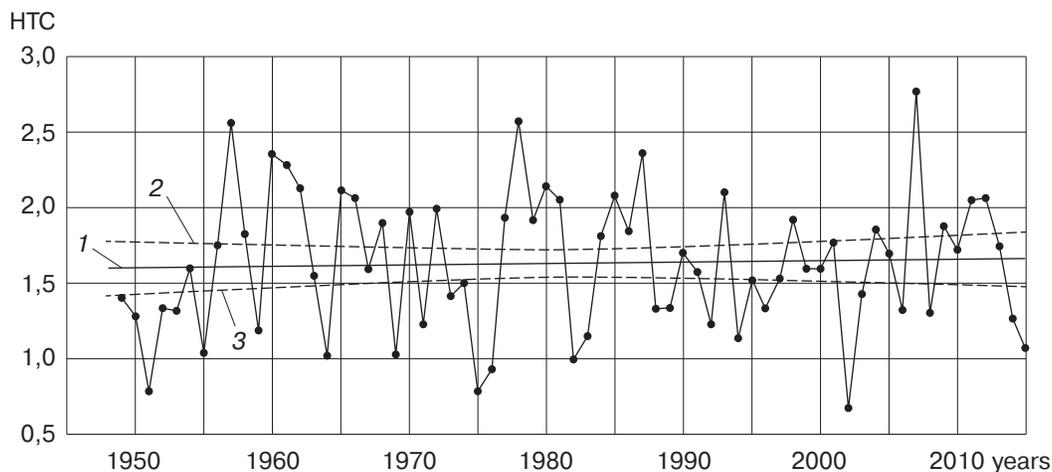


Fig. 7. HTC at the Kaliningrad weather station: 1 — linear trend; 2, 3 — upper and lower bounds of the confidence interval of the linear regression equation

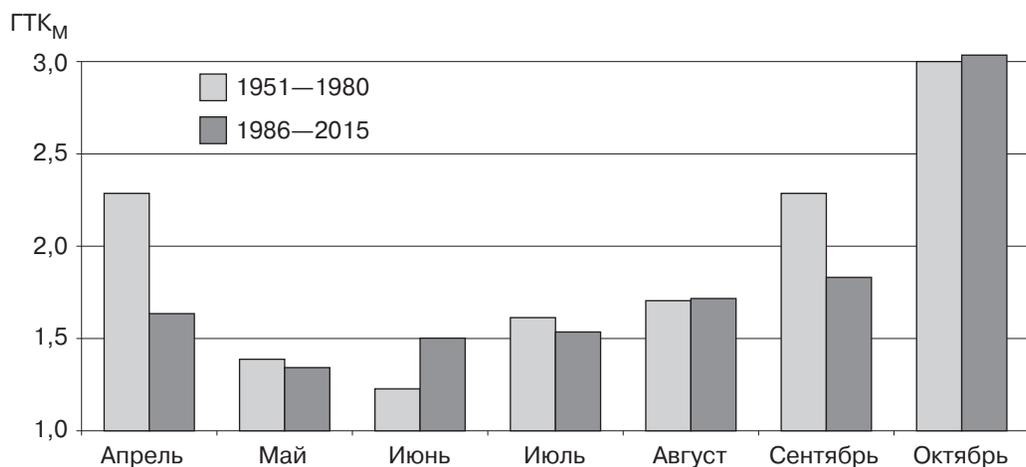


Рис. 8. Средние месячные ГТК по метеостанции «Калининград» (№ 26702)

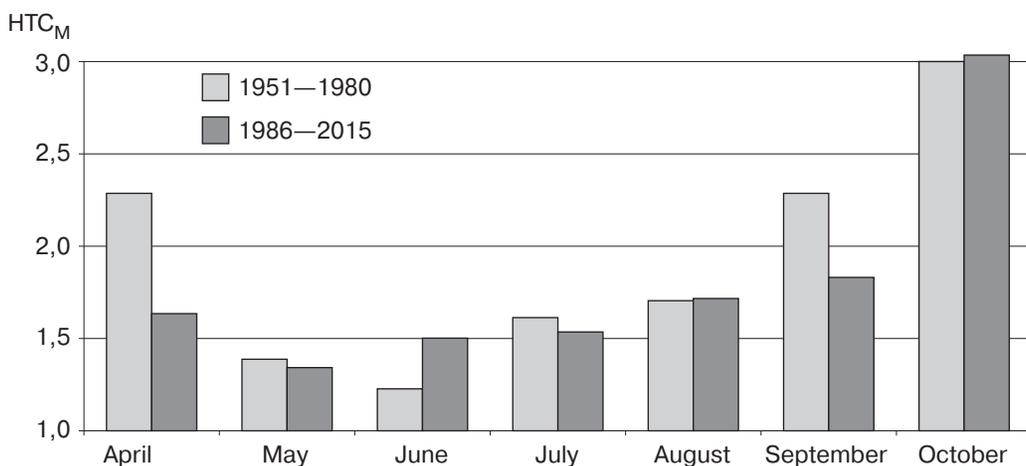


Fig. 8. Average monthly HTC at the Kaliningrad weather station (№ 26702)

Достаточное увлажнение является важным условием выращивания зерновых культур. В работе [8] исследованы тенденции изменения увлажнения зернового пояса России. Установлено, что медленное повышение ГТК зернового пояса наблюдалось практически до конца XX века. Признаки смены этой тенденции уже устойчивы в западной части и отмечаются в восточной части пояса. *Влияние условий увлажнения в Калининградской области на производство зерновых.* В таблице 3 представлены данные из работ [19—22] за 2004—2015 годы.

Таблица 3

Производство зерновых в хозяйствах всех категорий Калининградской области

Годы	Валовой сбор (в весе после доработки), тыс. т	Посевные площади, тыс. га	Урожайность с убранной площади, ц/га
2004	298,1	112,4	27,1
2005	253,6	104,0	28,9
2006	145,9	87,9	19,8
2007	160,6	72,5	26,6
2008	227,4	65,9	37,0
2009	266,0	72,9	36,6
2010	186,3	63,9	29,5
2011	156,5	63,4	24,7
2012	222,1	73,3	30,4
2013	331,9	89,8	36,8
2014	429,2	112,5	38,2
2015	554,8	132,4	47,7

Table 3

Grain production in all categories of the Kaliningrad region farms

Years	Gross yield (in weight after completion), thousand of tons	Sown areas, thousand of hectares	Yield, a centner per hectare of harvested area
2004	298,1	112,4	27,1
2005	253,6	104,0	28,9
2006	145,9	87,9	19,8
2007	160,6	72,5	26,6
2008	227,4	65,9	37,0
2009	266,0	72,9	36,6
2010	186,3	63,9	29,5
2011	156,5	63,4	24,7
2012	222,1	73,3	30,4
2013	331,9	89,8	36,8
2014	429,2	112,5	38,2
2015	554,8	132,4	47,7

Коэффициент корреляции между урожайностью зерновых за 2004—2015 годы и ГТК составил $r = -0,49$. Отрицательная корреляция наблюдается из-за избыточной величины ГТК. Поэтому в среднем при меньших значениях ГТК — большая урожайность.

Гидротермический коэффициент — это далеко не единственный показатель, играющий важную роль в растениеводстве, необходимо учитывать и уровень залегания грунтовых вод, и водно-физические свойства почв, а также используемые агротехнические мероприятия. Но пренебрегать им нельзя, кроме того, он косвенно указывает на необходимость поддержания в надлежащем состоянии осушительных мелиоративных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Селянинов Г.Т.* Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Мировой агроклиматический справочник. Л.: Гидрометеоиздат, 1937. С. 5—27.
- [2] Агроклиматический справочник по Калининградской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 128 с.
- [3] Агроклиматические ресурсы Литовской ССР и Калининградской области РСФСР: справочник. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 144 с.
- [4] *Бедарев С.А.* Перспективы агрометеорологических исследований в Калининградской области / Современные аспекты агрономии и природопользования: сб. науч. тр. Калининград: Изд-во КГТУ, 1997. С. 12—18.
- [5] *Давыденко О.В.* Агроклиматическое районирование Беларуси в условиях изменения климата // Вестник БГУ. Серия 2. 2009. № 1. С. 106—111.
- [6] *Поддубский А.А.* Оценка природной влагообеспеченности Московской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Агрономия и животноводство. 2015. № 2. С. 45—50.
- [7] *Семёнова И.Г.* Оценка засушливых условий на Украине в конце XX — начале XXI столетия // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. Вып. 1. С. 20—29.
- [8] *Золотокрылин А.Н., Черенкова А.Н.* Тенденции увлажнения зернового пояса России в начале XXI века / Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем: сб. науч. тр. Т. 25. М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2013. С. 251—264.
- [9] *Kołodziejczyk M.* Effect of nitrogen fertilization and microbial preparation potato yielding / M. Kołodziejczyk // Plant Soil Environment. 2014. Vol. 60. No. 8. P. 379—386.
- [10] *Skowera B.* The effects of hydrothermal conditions during vegetation period on fruit quality of processing tomatoes / B. Skowera, E. Jędrszczyk, J. Kopcińska et al // Polish Journal Of Environmental Studies. 2014. Vol. 23. No. 1. P. 195—202.
- [11] *Янчук Т.В., Макаркина М.А.* Влияние метеорологических условий вегетационного периода на накопление сахаров и органических кислот в ягодах смородины черной // Современное садоводство: электронный журнал. 2014. № 2. URL: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2014/2/25.pdf> (дата обращения: 12.02.2016).
- [12] *Radzka E., Rytuza K., Lenartowicz T.* Analysis of hydrothermal conditions and their impact on early potato yields // Journal of Ecological Engineering. 2015. Vol. 16. No. 2. P. 120—124.
- [13] *Romanovskaja D., Razukas A., Asakaviute R.* Impact of hydrothermal conditions on common buckwheat productivity // Applied Ecology and Environmental Research. 2016. Vol. 14. No. 2. P. 137—150.
- [14] *Ермолина О.В., Короткова О.В.* Влияние гидротермических условий по фазам онтогенеза на урожайность семян сои // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 3 (19). С. 70—76.
- [15] *Наумов В.А., Ахмедова Н.Р.* Изменение продолжительности периода вегетации и суммы активных температур в Калининградской области за последние 10 лет // Известия КГТУ. 2016. № 42. С. 175—184.

- [16] ВНИИГМИ-МЦД-Климат-Удаленный доступ к ЯОД архивам [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 04.11.2016).
- [17] *Наумов В.А.* Результаты статистического анализа региональных гидрологических и климатических рядов // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал. 2016. Т. 2. № 3. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/2016-N3-Naumov.pdf> (дата обращения: 12.02.2016).
- [18] Расписание погоды [Электронный ресурс]. URL: http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Калининграде (дата обращения: 31.05.2014).
- [19] Калининградская область в цифрах: статистический сборник. Калининград: Калининградстат, 2009. 320 с.
- [20] Сельское хозяйство Калининградской области в 2012 году: Аналитическая записка. Калининград: Калининградстат, 2012. 59 с.
- [21] Калининградская область в цифрах: краткий статистический сборник. Калининград: Калининградстат, 2014. 154 с.
- [22] О состоянии продовольственного рынка Калининградской области: аналитическая записка. Калининград: Калининградстат, 2015. 65 с.

© Наумов В.А., Ахмедова Н.Р., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 12.03.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Наумов В.А., Ахмедова Н.Р. Гидротермические условия Калининградской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 4. С. 465—479. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-465-479

Сведения об авторах:

Наумов Владимир Аркадьевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования Калининградского государственного технического университета. E-mail: van-old@mail.ru

Ахмедова Наталья Равиловна — кандидат биологических наук, заместитель декана начальника управления разработки образовательных программ и стратегического планирования Калининградского государственного технического университета. E-mail: isfendi@mail.ru

HYDROTHERMIC CONDITIONS OF KALININGRAD REGION

V.A. Naumov, N.R. Akhmedova

Kaliningrad State Technical University
Sovetskiy pr., 1, Kaliningrad, Russia, 236022

Despite the different attitude to this issue climate change in many parts of the world is obvious. It is known that all environmental factors interact with each other in a varying degree. It is expected that the change in climatic factors will be particularly noticeable in agriculture, in the field of water management. It is necessary to search for agricultural species that are adapted to the new conditions, for this it is necessary to determine the basic agroclimatic features of the terrain. Many scientists believe

that they are the main factor in the location of crops. In this paper, based on hydrometeorological information on Kaliningrad weather station, the following indicators are sum of precipitation (annual and monthly averages), hydrothermal coefficient (mean multi-annual value, intra-annual distribution). The procedure for calculating such an indicator as the amount of precipitation for the period of active vegetation using modern information technologies is represented. The hydrothermal coefficient was determined by the method proposed by G.T. Selyaninov. The results of the reports make it possible to say that the values of the sum of precipitation for the period when the average daily air temperature exceeds 10 degrees Celsius significantly exceed the values that were set earlier and the hydrothermal coefficient remained almost unchanged. Also is detected the dependence between the hydrothermal coefficient and the productivity of cereals in the Kaliningrad region.

Key words: agroclimatic characteristics, hydrothermal coefficient, total precipitation, Kaliningrad region

REFERENCES

- [1] Selyaninov G.T. Metodika sel'skokhozyaistvennoi kharakteristiki klimata. Mirovoi agroklimaticheskii spravochnik. L.: Gidrometeoizdat, 1937. S. 5—27.
- [2] Agroklimaticheskii spravochnik po Kaliningradskoi oblasti. L.: Gidrometeoizdat, 1961. 128 s.
- [3] Agroklimaticheskie resursy Litovskoi SSR i Kaliningradskoi oblasti RSFSR: spravochnik. L.: Gidrometeoizdat, 1972. 144 s.
- [4] Bedarev S.A. Perspektivy agrometeorologicheskikh issledovaniy v Kaliningradskoi oblasti. Sovremennyye aspekty agronomii i prirodozashchity: sb. nauchnykh trudov. Kaliningrad, 1997. S. 12—18.
- [5] Davydenko O.V. Agroklimaticheskoe raionirovanie Belarusi v usloviyakh izmeneniya klimata. Vestnik BGU. Seriya 2. 2009. № 1. S. 106—111.
- [6] Poddubskii A.A. Otsenka prirodnoi vlogoobespechennosti Moskovskoi oblasti. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2015. № 2. S. 45—50.
- [7] Semenova I.G. Otsenka zasushlivykh uslovii na Ukraine v kontse XX — nachale KhKhI stoletiya. Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. 2014. Vyp. 1. S. 20—29.
- [8] Zolotokrylin A.N., Cherenkova A.N. Tendentsii uvlazhneniya zernovogo poyasa Rossii v nachale XXI veka. Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem: sbornik nauchnykh trudov. T. 25. M.: Institut global'nogo klimata i ekologii Rosgidrometa i RAN, 2013. S. 251—264.
- [9] Kołodziejczyk M. Effect of nitrogen fertilization and microbial preparation potato yielding. Plant Soil Environment. 2014. Vol. 60. No. 8. P. 379—386.
- [10] Skowera B. The effects of hydrothermal conditions during vegetation period on fruit quality of processing tomatoes / B. Skowera, E. Jędraszczyk, J. Kopcińska et al. Polish Journal Of Environmental Studies. 2014. Vol. 23. No. 1. P. 195—202.
- [11] Yanchuk T.V., Makarkina M.A. Vliyanie meteorologicheskikh uslovii vegetatsionnogo perioda na nakoplenie sakharov i organicheskikh kislot v yagodakh smorodiny chernoii. Sovremennoe sadovodstvo: elektronnyi zhurnal. 2014. № 2. URL: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2014/2/25.pdf>
- [12] Radzka E., Rymuza K., Lenartowicz T. Analysis of hydrothermal conditions and their impact on early potato yields. Journal of Ecological Engineering. 2015. Vol. 16. No. 2. P. 120—124.
- [13] Romanovskaja D., Razukas A., Asakaviute R. Impact of hydrothermal conditions on common buckwheat productivity. Applied Ecology and Environmental Research. 2016. Vol. 14. No. 2. P. 137—150.
- [14] Ermolina O.V., Korotkova O.V. Vliyanie gidrotermicheskikh uslovii po fazam ontogeneza na urozhaishnost' semyan soi. Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2016. № 3 (19). S. 70—76.
- [15] Naumov V.A., Akhmedova N.R. Izmenenie prodolzhitel'nosti perioda vegetatsii i summy aktivnykh temperatur v Kaliningradskoi oblasti za poslednie 10 let. Izvestiya KGTU. 2016. № 42. S. 175—184.
- [16] VNIIGMI-MTsD-Klimat-Udalennyi dostup k YaOD arkhivam [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa — po parolyu. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (data obrashcheniya: 04.11.2016).

- [17] Naumov V.A. Rezul'taty statisticheskogo analiza regional'nykh gidrologicheskikh i klimaticheskikh ryadov. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii: elektronnyi zhurnal. 2016. T. 2. № 3. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/2016-N3-Naumov.pdf>
- [18] Raspisanie pogody [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa — svobodnyi. URL: http://rp5.ru/Arkhiv_pogody_v_Kaliningrade (data obrashcheniya: 31.05.2014).
- [19] Kaliningradskaya oblast' v tsifrah: Statisticheskii sbornik. Kaliningrad: Kaliningradstat, 2009. 320 s.
- [20] Sel'skoe khozyaistvo Kaliningradskoi oblasti v 2012 godu: Analiticheskaya zapiska. Kaliningrad: Kaliningradstat, 2012. 59 s.
- [21] Kaliningradskaya oblast' v tsifrah: Kratkii statisticheskii sbornik. Kaliningrad: Kaliningradstat, 2014. 154 s.
- [22] O sostoyanii prodovol'stvennogo rynka Kaliningradskoi oblasti: Analiticheskaya zapiska. Kaliningrad: Kaliningradstat, 2015. 65 s.

Article history:

Received: 12.03.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Naumov V.A., Akhmedova N.R. (2017) Hydrothermic conditions of Kaliningrad region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 465—479. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-465-479

Bio Note:

Naumov Vladimir Arkadevich — Doctor of technical sciences, professor, head of the chair of water resources and water use, chair of water resources and water use, Kaliningrad state technical university. E-mail: van-old@mail.ru

Akhmedova Natalia Ravilovna — Candidate of biological sciences, deputy head of the department for the development of educational programs and strategic planning, Kaliningrad state technical university. E-mail: isfendi@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509

УДК 631.41

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАПЕЧАТАННЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНОЙ МОСКВЫ

Е.М. Никифорова¹, Н.Е. Кошелева¹, Т.С. Хайбрахманов²

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991

² Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС»
*Киевское шоссе, 1, Бизнес-парк «Румянцево», корп. А, 8 подъезд, оф. 732,
Москва, Россия, 108811*

Исследованы запечатанные дорожными покрытиями почвы в Восточном административном округе (ВАО) Москвы, установлены их морфологические и физико-химические свойства в зонах различного функционального назначения, оценено их эколого-геохимическое состояние и уровень содержания легкорастворимых солей (ЛС) и приоритетных органических загрязнителей — нефтепродуктов (НП) и бенз(а)пирена (БП) по сравнению с фоновыми и открытыми почвами. В основу статьи положены результаты почвенно-геохимической съемки экраноземов в сентябре 2016 г. и полученные ранее аналитические данные с незапечатанной территории в южной части ВАО. Разработана методика картографирования и составлена карта запечатанности почвенного покрова ВАО. Определено морфологическое строение и основные свойства горизонтов экраноземов в разных функциональных зонах ВАО. Они имеют низкое содержание органического вещества (2,24%), щелочной рН (8,0), легкосуглинистый гранулометрический состав. Несмотря на применение противогололедных реагентов и минеральных удобрений верхняя часть профиля запечатанных почв не засолена, соли накапливаются преимущественно в средней и нижней частях профиля, образуя максимумы в горизонте РАТ.

Экранирование почв асфальтобетоном не является препятствием для проникновения в них техногенных потоков загрязняющих веществ — солей, НП, БП, способных накапливаться в повышенных концентрациях и образовывать контрастные техногенные аномалии. Среднее содержание БП в запечатанных почвах превышает фоновый уровень в 56 раз, а ПДК — в 9,6 раза. Допустимое содержание НП в экраноземах превышено в 9,5 раза. Однако по сравнению с открытыми почвами содержание БП и НП в экраноземах в 3,5 раза меньше. Профильное распределение БП, как правило, равномерное, за исключением промышленной зоны, а НП — аккумулятивное с несколькими хорошо выраженными максимумами в разных частях профиля. В результате латеральной миграции БП и НП накапливаются в экраноземах нижних частей склонов, где они образуют аккумуляции на органоминеральном и сорбционно-седиментационном геохимических барьерах. Высококонтрастные техногенные аккумуляции углеводородов формируются преимущественно в экраноземах промышленной и транспортной зон. При вскрытии асфальта могут возникнуть риски, связанные с миграцией углеводородов в другие компоненты ландшафта, включением их в биологический круговорот и пищевые цепи.

Ключевые слова: запечатанные почвы, Москва, морфологическое строение, физико-химические свойства, загрязнение, нефтепродукты, бенз(а)пирен

Введение

К запечатанным почвам — экраноземам относятся городские почвы, закрытые дорожными покрытиями (асфальтом, асфальтобетоном), зданиями и сооружениями. Они представляют собой особую форму проявления технопедогенеза [1] и объединяют антропогенно-трансформированные и искусственно созданные почвы, развитые на культурном слое, насыпных, переотложенных и перемещенных грунтах [2]. По определению FAO [3], к запечатанным относятся почвы с пониженной проницаемостью вследствие поверхностного экранирования или уплотнения, произошедшего под воздействием природных и антропогенных процессов.

Наиболее очевидным следствием запечатывания является создание экрана между атмосферой и поверхностью почв, которое ограничивает их дальнейшее развитие. Отмечается повышенное уплотнение экраноземов по сравнению с открытыми почвами, которое связано с высокими техногенными вибрационными нагрузками. Небольшая проницаемость дорожных покрытий со временем увеличивается — проектный срок их износа в городах гумидной зоны составляет 10 лет [4], при этом слой покрытия ежегодно уменьшается на 4–5 см, образуя около 160–200 т/га продуктов его разрушения [5].

Как правило, запечатанность уменьшает эвапотранспирацию, увеличивает поверхностный дождевой сток и сильно изменяет тепловой баланс почв: чем больше плотность застройки, тем выше температура закрытой асфальтом поверхности. В жаркие летние дни разность температур между открытыми и запечатанными почвами достигает нескольких градусов, а дефицит относительной влажности воздуха составляет 10–20% [6]. Ослабление газового обмена ведет к недостатку кислорода и избытку углекислого газа под асфальтом, где могут наблюдаться экстремально низкие значения окислительно-восстановительного потенциала, которые определяются по более темной окраске почв [7].

В России городские почвы, как правило, обследовались только на открытых (незаасфальтированных) участках, а полученные данные распространялись на всю территорию, исходя из предположения, что их свойства идентичны. За рубежом вопросы морфологии, физико-химических свойств, эволюции и классификации запечатанных почв (*sealed soils*) изучаются вместе с открытыми почвами как единое целое [8].

Первые сведения о запечатанных почвах Москвы, включая их физико-химические, микробиологические свойства и загрязнение тяжелыми металлами были получены в Юго-Восточном округе [9]. Установлено, что под искусственным экраном почва продолжает функционировать и не становится абиотичной, ее влажность и температура достаточны для произрастания растений [10]. Экраноземы имеют низкую биологическую активность и особый состав микроорганизмов, доминирующие позиции в их микробном пуле занимает азотфиксатор *Azotobacter chroococum*, определяющий слабую активность цикла азота и низкую интенсивность процессов нитрификации и денитрификации. В почвах преобладают психротрофные микроорганизмы, развивающиеся в условиях низких температур ($t < 6,5$ °C), при существенном подавлении спорных бактерий [11].

Современный этап изучения городских почв немислим без оценки экраноземов как важной и неотъемлемой составляющей почвенного покрова в урбанизированных экосистемах. С разработкой систематики почв и почвообразующих пород в г. Москве экраноземы выделены в особую группу и включены в общую классификацию [12]. Несмотря на доминирующее положение запечатанных почв в почвенном покрове Москвы и в других крупных городов мира [13], их свойства, особенности функционирования и уровень загрязнения остаются недостаточно изученными. Мало сведений об интенсивности вертикальной и латеральной миграции загрязняющих веществ (R-, L-анализ) в разных функциональных зонах города, накоплении поллютантов в профиле экраноземов на геохимических барьерах (ГХБ), не картографировались аномалии органических и неорганических загрязнителей.

Цель данной статьи — изучить морфологические, физико-химические и химические свойства экраноземов Восточной Москвы в зонах различного функционального назначения, оценить их эколого-геохимическое состояние и уровень содержания легкорастворимых солей (ЛС) и приоритетных органических загрязнителей — нефтепродуктов (НП) и бенз(а)пирена (БП) по сравнению с фоновыми и открытыми (незапечатанными) почвами. В основу статьи положены результаты почвенно-геохимической съемки экраноземов в сентябре 2016 г. и полученные ранее аналитические данные с открытой (незапечатанной) территории в южной части Восточного административного округа (ВАО) [14]. Для достижения цели решались следующие задачи:

- зонирование и составление карты запечатанности почвенного покрова ВАО;
- изучались основные физико-химические свойства (актуальную кислотность pH_b , содержание $C_{орг}$, гранулометрический состав, степень засоления противогололедными реагентами (ПГР)) и морфологическое строение типичных профилей экраноземов в разных функциональных зонах;
- устанавливались вертикальное (по профилю) и латеральное (в катене) распределение свойств, содержания НП и БП в экраноземах, оценивалась степень их экологической опасности и составлялись карты загрязнения на территории округа.

Источники загрязнения

Основным источником загрязняющих веществ в атмосфере ВАО Москвы служит автотранспорт, вклад которого составляет 92—95%, поставляющий поллютанты при работе двигателей, истирании шин, деталей и тормозных колодок автомобилей, абразии дорожного покрытия [14]. В округе также действуют свыше 50 промышленных предприятий, мусоросжигательный завод в Руднево и две крупные ТЭЦ (рис. 1), которые образуют несколько промышленных зон. Несмотря на спад промышленного производства в конце XX в. [15], загрязняющее воздействие промзон нашло отражение в современном эколого-геохимическом состоянии почв ВАО [16]. Их выбросы, стоки и отходы по мере образования трещин и разрушения слоя асфальтобетона вместе с атмосферными осадками и поверхностным стоком поступают в верхние горизонты экраноземов.

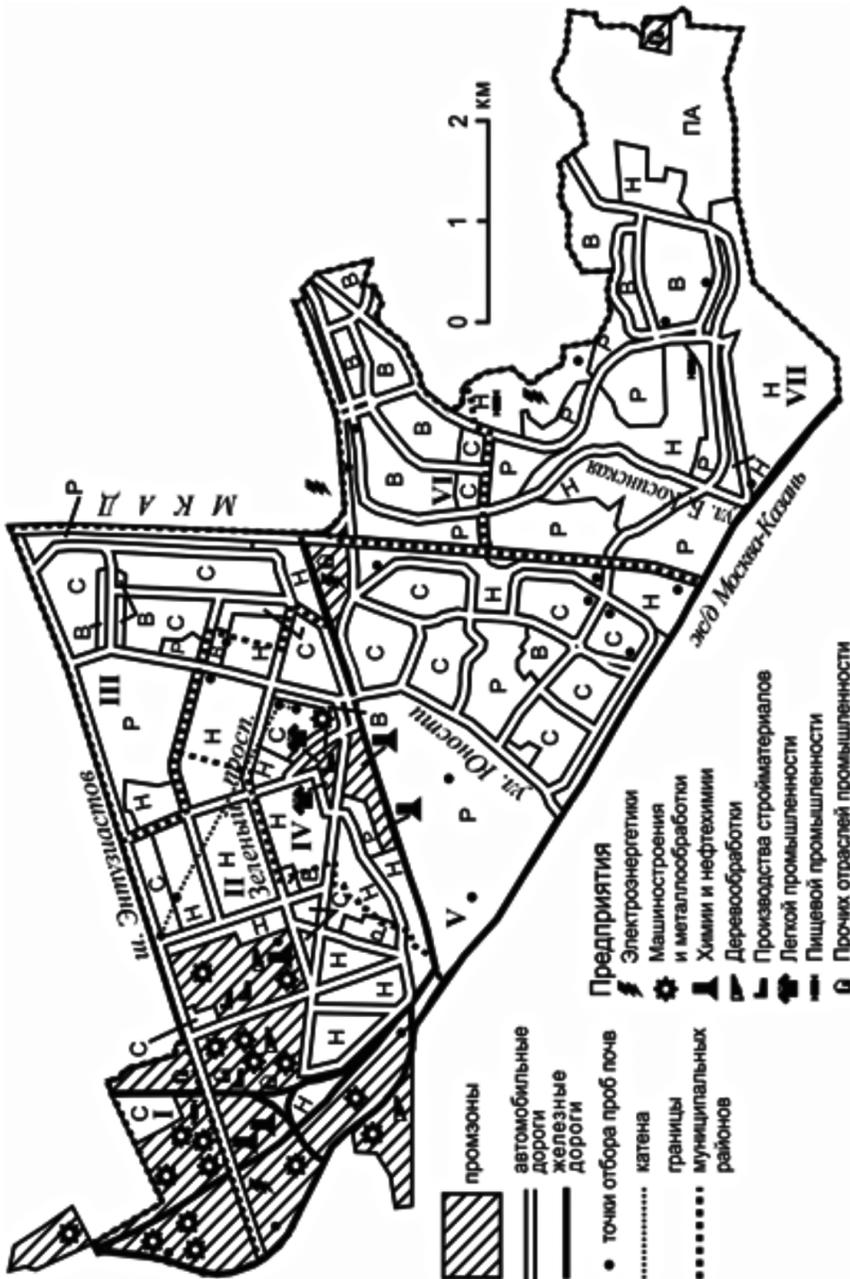


Рис. 1. Карта функционального зонирования территории, основных промышленных предприятий и точек отбора почв в южной части ВАО Москвы. Система координат УТМ. Функциональные зоны: Р — рекреационная; В, С, Н — жилая застройка повышенной, средней и низкой этажности соответственно; ПА — постагрогенная. Муниципальные районы: I — Соколиная гора, II — Перово, III — Ивановское, IV — Новогиреево, V — Вешняки, VI — Новокосино, VII — Косино-Ухтомский

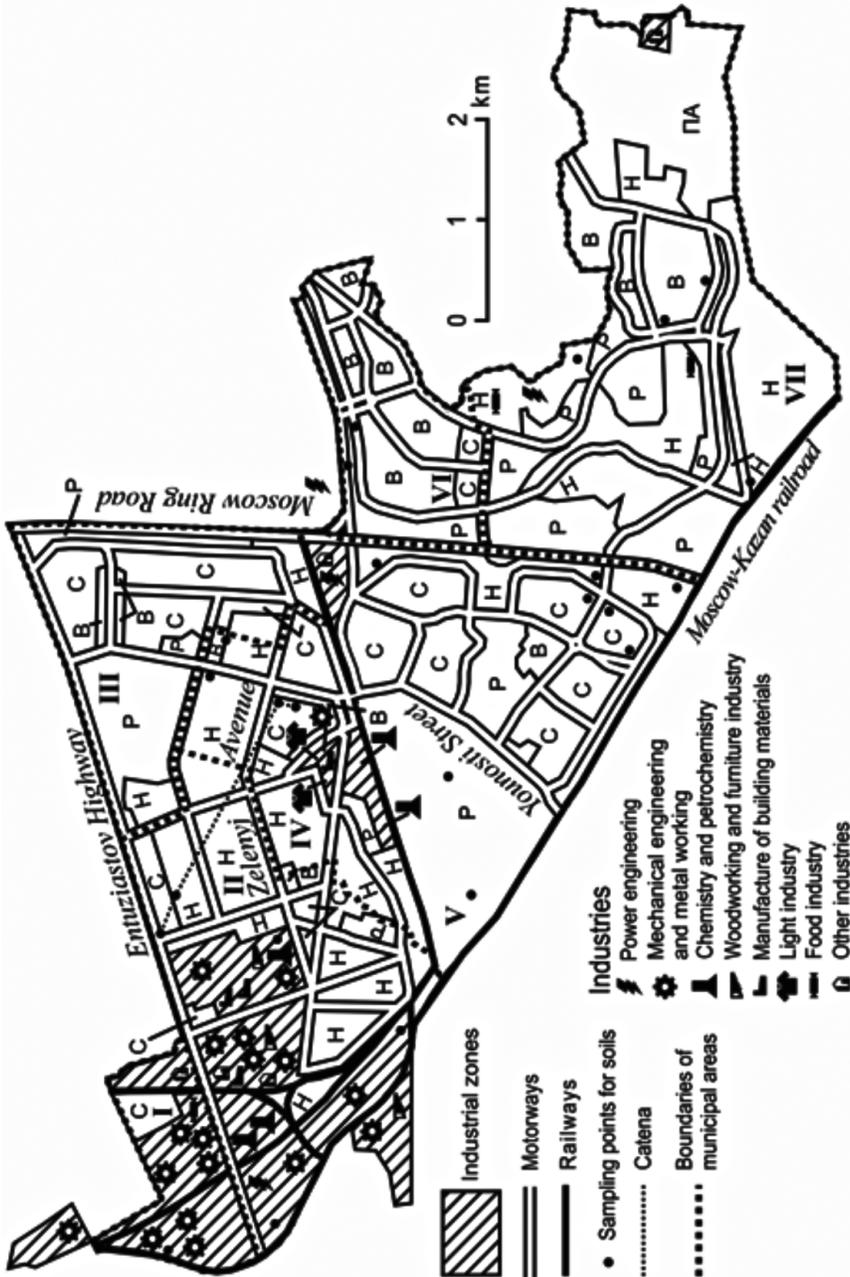


Fig. 1. Map of the land-use zoning of the territory, the main industrial enterprises and soil sampling points in the southern part of the EAD of Moscow. UTM coordinate system. *Land-use zones:* P — recreational; B, C, H — residential development of high-, mid- and low-rise, respectively; ПА — postagrogonic. *Municipal areas:* I — Sokolinaya gora, II — Perovo, III — Ivanovskoe, IV — Novogireevo, V — Veshnyaki, VI — Novokosino, VII — Kosino-Ukhtomsky

Приоритетными загрязнителями городских почв ВАО являются ЛС, входящие в состав ПГР, НП и их производные и наиболее опасный канцероген БП из группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) [17]. Высокое содержание ЛС в незапечатанных почвах ВАО Москвы вызвано повышенным многолетним использованием ПГР для борьбы с гололедом. Содержание суммы солей в ПГР достигает 3260 смоль(экв)/кг, среди анионов доминируют хлориды, среди катионов — ионы натрия [18]. Применяемые в округе реагенты хлоридной группы практически полностью состоят из солей NaCl, ионы других солей содержатся в очень небольших количествах, преобладают сульфаты кальция [19; 20]. Противогололедные электролиты вместе с вносимыми минеральными удобрениями (норма 150—200 г/м² за прием) формируют высокий уровень загрязнения ЛС в незапечатанных почвах города, угнетающие почвенную биоту и рост зеленых насаждений [21].

НП представляют собой техногенные углеродистые вещества, которые появляются в природной среде в результате переработки нефти. Существующие сотни и тысячи марок НП подразделяют на группы: газообразные и жидкие топлива, смазочные материалы, парафины и церезины, битумы, технический углерод (сажа), нефтяной кокс и нефтяные пеки [22]. Продукты первичной переработки нефти состоят из фракций: бензиновой, лигроиновой (тяжелая нефть), керосиновой, дизельной и мазута, а после вакуумной перегонки нефти образуются легкие масла (трансформаторное масло), вакуумный газойль, средние, тяжелые масла и гудрон (вакуумный остаток). При вторичных процессах переработки нефти к НП добавляются новые токсичные соединения, которые в природе встречаются редко: непредельные углеводороды, ПАУ и их производные. Наибольшая опасность для здоровья человека возникает при вдыхании углеводородных растворителей, которые подавляют окислительно-восстановительные процессы, вызывают нарушение тканевого дыхания, угнетают сердечную деятельность, снижают функции печени, пищеварения, щитовидной железы и некоторых других органов.

При загрязнении почв органическими соединениями высокую опасность представляет бенз(а)пирен (БП) — высокомолекулярный полициклический ароматический углеводород, оказывающий канцерогенное, мутагенное и нейротоксическое воздействие на животных и человека [23; 24]. Источниками БП являются выбросы промышленных производств, отопительных и транспортных систем, продукты сжигания бытового мусора и разных видов топлива [25; 26]. Из загрязненного воздуха БП поступает в снег или почвы с пылью, аэрозолями, осадками, аккумулируясь в их поверхностном слое [27—31]. БП часто рассматривается как показатель общей канцерогенной активности всей группы ПАУ в окружающей среде [32].

Методы и материалы

Исследовалась южная часть ВАО Москвы в пределах семи муниципальных районов: Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский (см. рис. 1). Территория относится к южно-таежным

ландшафтам Подмосковной Мещеры и представляет собой плоскую зандровую равнину междуречья Москвы и Клязьмы с абсолютными высотами 150—160 м, сложенную водно-ледниковыми и древнеаллювиальными отложениями [33].

Эколого-геохимические исследования экраноземов проводились на основе функционального зонирования территории ВАО [34]. Карта зонирования, составленная на основе космических снимков сверхвысокого разрешения (2,4 м Quick Bird), включает пять зон: промышленная с нежилой застройкой, транспортная, селитебная (разной этажности), рекреационная и постагрогенная (см. рис. 1).

При полевом изучении экраноземов использовались различные вскрышные ямы и каналы, заложенные городскими службами. Опробовалась верхняя часть профиля почв мощностью в среднем до 70 см, находящаяся под слоем асфальта и нижележащей дорожной «песчано-гравийной подушкой». В глубоких (до 2 м) разрезах отбор проб проводился по всему профилю почв, включая почвообразующую породу. Всего из 4 полнопрофильных и 35 неглубоких разрезов собраны 63 пробы экраноземов (см. рис. 1). Для сравнения привлечены данные по 52 поверхностным пробам почв с открытых (незаасфальтированных) участков и 10 фоновым пробам из ненарушенных ландшафтов Подмосковной Мещеры, в 50 км к востоку от города [17].

Физико-химические и химические свойства экраноземов, открытых городских и фоновых почв анализировались в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ общепринятыми методами [35]: актуальная кислотность (рН) — в водной суспензии на стационарном приборе «Эксперт-рН», содержание $C_{орг}$ — методом Тюрина с титриметрическим окончанием, гранулометрический состав — на лазерном микроанализаторе “Analyzette 22 comfort” (Германия), растворимые вещества-электролиты — по удельной электропроводности водной вытяжки (TDS) на кондуктометре “SevenEasy S30” (Mettler Toledo). Содержание НП и БП в почвах определено методами люминесцентно-битумологического анализа и низкотемпературной спектрофлуориметрии в лаборатории углеродистых веществ биосферы географического факультета МГУ (аналитик Н.И. Хлынина).

Обработка почвенно-геохимических данных включала расчет коэффициентов накопления относительно фона: $K_c = C/C_{ф}$, где C и $C_{ф}$ — концентрации в городских и фоновых почвах. Статистический анализ данных проводился в программном пакете STATISTICA 8, картографирование экраноземов, загрязненных НП и БП, выполнено в пакете ArcGIS 10 с помощью градуированных символов. Катенарное распределение БП и НП в поверхностных горизонтах экраноземов оценивалось с помощью коэффициента латеральной дифференциации L , определяемого как отношение содержания поллютанта в экраноземах рассматриваемого ландшафта к автономному.

Методика составления карты запечатанности почв масштаба 1:50 000 включала автоматизированное дешифрирование космического многозонального снимка QuickBird с определением соотношения площадей открытых и заасфальтированных (застроенных) участков. В качестве единицы картографирования исполь-

зовались функциональные зоны, в каждой из которых выделялись три степени запечатанности городских почв: низкая, средняя, высокая. При значительном варьировании этого показателя границы каждой из степеней были индивидуальными для каждой функциональной зоны. С помощью операции зональной статистики в пакете ArcGIS подготовленный космический снимок с набором классов: водные объекты, растительность, антропогенные объекты (асфальтовые покрытия, здания и др.) был отнесен к полигонам слоя основной карты функциональных зон и для отдельных выделов получено количество пикселей того или иного класса внутри него. Путем суммирования этих значений было найдено их общее количество для всех выделов. Процент запечатанности почв вычислялся как доля площади под антропогенными объектами к общей площади зоны.

Результаты и их обсуждение

Запечатанность почвенного покрова ВАО. На первом этапе изучения экраноземов в результате дешифрирования космических снимков была составлена карта запечатанности почвенного покрова в южной части ВАО Москвы (рис. 2), которая показывает распространенность экраноземов в различных функциональных зонах округа. Цвет выдела на карте соответствует функциональной зоне, а насыщенность цвета — степени запечатанности почв по принципу, чем темнее, тем более запечатана территория.

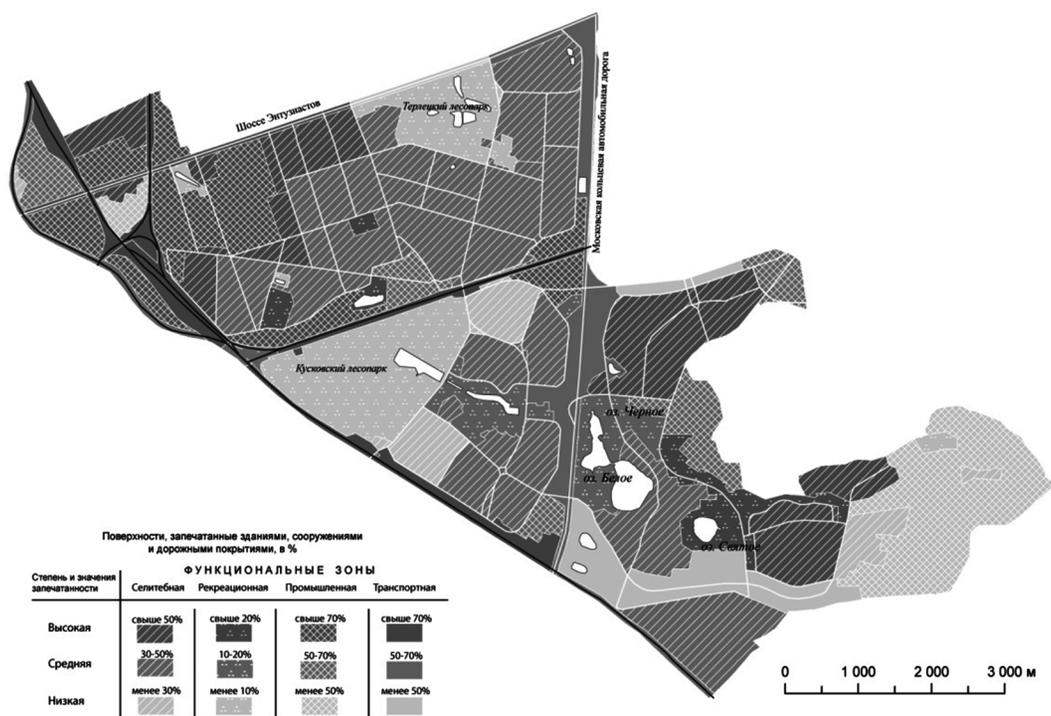


Рис. 2. Запечатанность почвенного покрова в различных функциональных зонах южной части ВАО Москвы, масштаб 1:50000

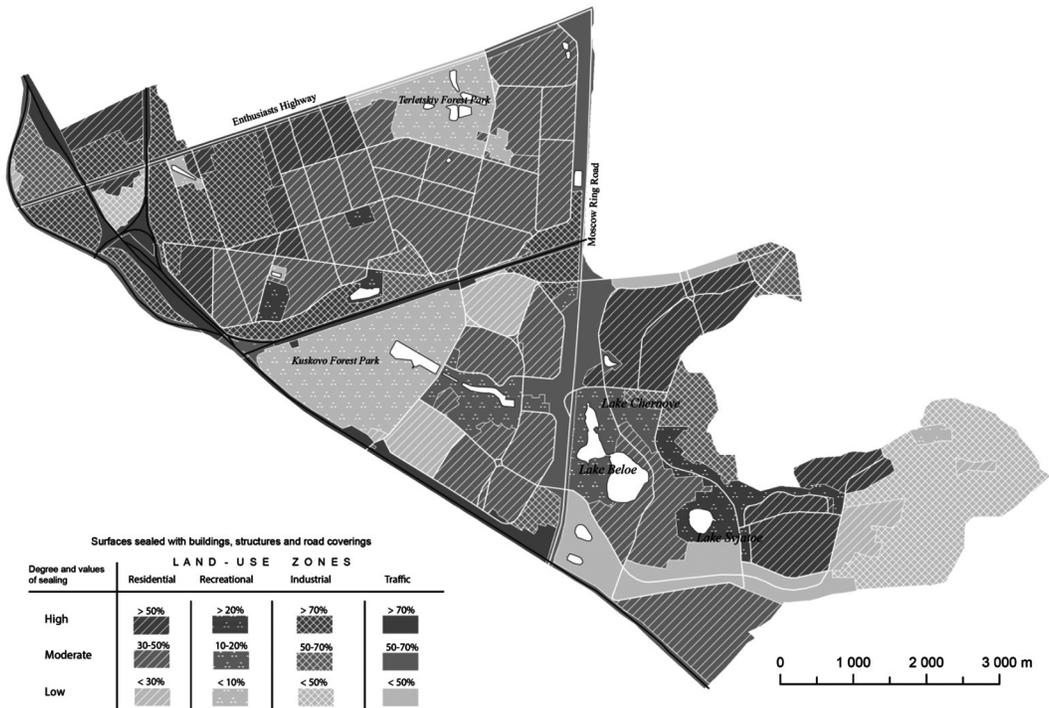


Fig. 2. Sealing degree of soil cover in various land-use zones of the southern part of the EAD in Moscow, scale 1:50000

Наибольшая степень запечатанности (>70%) характерна для почв промышленной и транспортной зон, наименьшая (<10%) — для рекреационной зоны. Высокой степенью запечатанности отличаются почвы в основном старых районов округа, это территории промышленных и жилых зон Перово с плотной застройкой смешанной и периметральной структуры. Повышенная степень запечатанности почв характерна для районов нового многоэтажного строительства Новокосино и Косино-Ухтомского района, низкая степень — для жилых кварталов с высокой и средней степенью озеленения в районах Вешняки, Ивановское и Новогиреево. Карта запечатанности почв ВАО г. Москвы имеет много общих черт с распространением экраноземов в ЮВАО [10]. Наибольшие площади закрытых поверхностей в ЮВАО так же приходится на промышленную зону, где запечатанность может достигать 90%, почвы природного комплекса и агрозоны закрыты на 20%, жилой застройки — на 20—75%.

Основные черты строения профиля экраноземов. Запечатанными дорожными покрытиями могут оказаться все типы почв, распространенные на территории округа. Строение их профиля очень специфично и вместе с тем многообразно. В наиболее трансформированных типах экраноземов, развитых в промышленной или транспортной зонах, может полностью отсутствовать система природных генетических горизонтов и доминировать техногенные слои. В других зонах в профиле экраноземов обычно наблюдается сочетание различных по окраске и мощности слоев и прослоек искусственного генезиса с резким переходом и довольно ровной границей. При укладке асфальта покрытия часто срезается или добавляется верхняя часть профиля, а другие генетические горизонты настолько

сильно видоизменяются, что их морфогенетическое изучение становится чрезвычайно затруднительным. По этой причине к таким почвам сложно применять традиционный профильно-генетический подход, поэтому их морфологический анализ и диагностика проводились путем сравнения с так называемой «матрицей почвенного тела», т.е. со структурным каркасом природной почвы, определяемым системой ее субстантивно-организованных свойств и признаков [36]. Этот метод успешно применялся для диагностики различных типов техногенно-трансформированных и преобразованных почв в районах нефтедобычи [37].

Строение профиля экраноземов на территории ВАО наряду с морфогенетическим анализом определялось на основе выделения диагностических горизонтов, а название почв напрямую связывалось с наличием, мощностью и их сочетанием в профиле. В диагностических горизонтах учитывались не только морфологические признаки, но и химические и физико-химические свойства. Строение профиля экраноземов, развитых на культурных наносах и распространенных в различных функциональных зонах ВАО Москвы имеет типичный профиль со следующими горизонтами и антропогенными слоями (рис. 3):

— асфальтобетон (Асф), как основное покрытие экраноземов, является искусственным строительным материалом, полученным в результате уплотнения асфальтовой смеси, песка, минерального порошка и битума [4]. Асфальтобетонная смесь обычно состоит из оптимально подобранных минеральных материалов (щебня, гравия и песка) с добавлением тонкодисперсного минерального порошка (или без него) и органического вяжущего материала — битума, которые перемешиваются в нагретом состоянии и применяются для строительства автомобильных дорог, тротуаров и различных городских покрытий. Слой Асф обычно подстилается песчано-гравийной подушкой (ПГ) разной мощности;

— широко распространенный горизонт урбик *UR* характеризуется бурой или буровато-коричневой неравномерной окраской, преимущественно легким гранулометрическим составом, структурные отдельности имеют горизонтальную делимость, местами ярко выраженную плитчатость, он непрочный, пылеватый, плотный, в верхней (подасфальтовой) части более увлажненный, содержит много углистых частиц, отдельные железистые новообразования, реагирует с кислотой HCl . Антропогенные включения (более 10%) представлены строительным и бытовым мусором (обломки кирпичей, асфальта, арматуры, керамики, битое стекло, обрывки целлофана и отдельные части бытовых предметов и др.);

— горизонт *A_{Yur}* имеет однородную серо-бурю или буровато-темносерую окраску, преимущественно комковатый или зернисто-комковатый, часто с горизонтальной делимостью в крупных агрегатах, суглинистого гранулометрического состава, с большим количеством углефицированных частиц, образующих сложный пятнистый рисунок, уплотненный, свежий или влажный (если залегает сразу под асфальтом), встречаются рыхлые Fe-Mn охристые образования, содержит антропогенные включения (менее 10%), слабо реагирует с кислотой HCl ;

— горизонт *TCH* — техногенно-перемешанный, неоднородный бесструктурный материал различного цвета без видимых признаков почвообразования и природного залегания, часто затронут процессами оглеения, характеризуется высокой плотностью и влажностью, содержит многочисленные антропогенные включения (более 20%), редко вскипает от кислоты HCl ;

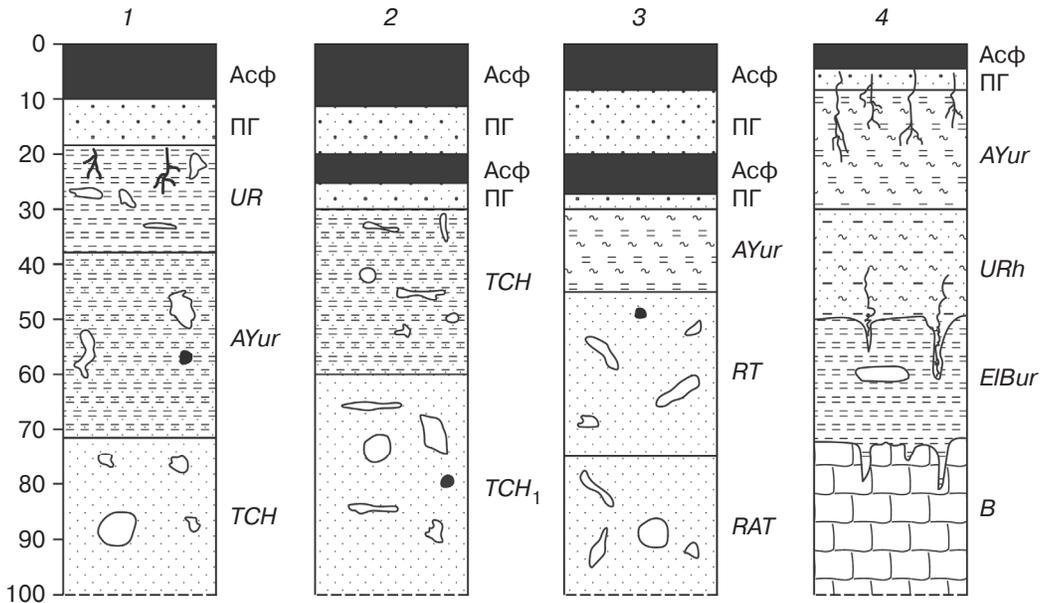


Рис. 3. Морфологические профили экраноземов в различных функциональных зонах ВАО Москвы: 1 — экранозем по урбанозему (Косино-Ухтомский район, пос. Ухтомский, жилые зоны низкой этажности); 2 — экранозем по индустризему (район Перово, улица Плеханова, промышленная зона); 3 — экранозем по реплантозему (район Вешняки, улица Вешняковская, транспортная зона); 4 — экранозем по урбо-подзолистой почве (район Новокосино, Триозерье, рекреационная зона). *Диагностические горизонты и антропогенные слои:* Асф — асфальт; ПГ — песчано-гравийная подушка; UR, URh — урбик, гумусово-аккумулятивный; AYur — гумусовый с признаками урбопедогенеза; TCH — техногенный перемешанный грунт; RAT — техногенный рекультивационный с включением органических остатков; RT — органический рекультивационный (торфосодержащая смесь); EIBur — элювиально-иллювиальный горизонт с признаками урбогенеза; B — иллювиальный горизонт

[Fig. 3. Morphological profiles of ekranozems in various land-use zones of the EAD in Moscow: 1 — ekranozem on urbanozem (Kosino-Ukhtomsky area, Ukhtomsky village, low-rise residential sector); 2 — ekranozem on industrizem (Perovo area, Plekhanova street, industrial zone); 3 — ekranozem on replantozem (Veshnyaki area, Veshnyakovskaya street, traffic zone); 4 — ekranozem on urbo-podzolic soil (Novokosino area, Triozerje, recreational zone). *Diagnostic horizons and anthropogenic layers:* Асф — asphalt; ПГ — sand and gravel cushion; UR, URh — urbic, humus-accumulative; AYur — humus with signs of urbopedogenesis; TCH — technogenic mixed ground; RAT — technogenic recultivated with the inclusion of organic residues; RT — organic recultivated (peat mixture); EIBur — eluvial-illuvial horizon with signs of urbogenesis; B — illuvial horizon]

— горизонт RAT — основной поверхностный рекультивант городских почв и грунтов, имеет темно-серую или темно-коричневую окраску и комковатую структуру, суглинистый гранулометрический состав, обычно включает растительные остатки разной степени разложения, фрагменты торфа и минеральные компоненты, свойства которых регламентируются Постановлением Правительства Москвы № 514-ПП «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве». Такая смесь регулярно добавляется в верхний горизонт городских почв, поэтому горизонт постоянно обновляется и после запечатывания асфальтом может иметь различный цвет, повышенную влажность и плотность, как правило, не содержит твердых антропогенных включений и характеризуется слабым вскипанием от кислоты HCl;

— горизонт *RT* также состоит из торфосодержащих компонентов, отличается от органического горизонта *RAT* большим (более 30%) содержанием слабо минерализованного органического вещества, обычно без антропогенных включений, рыхлый, свежий, не вскипает от HCl.

Физико-химические и химические свойства экраноземов. По своим свойствам запечатанные почвы довольно сильно отличаются от почв ненарушенных фоновых ландшафтов (табл. 1). Верхние горизонты экраноземов характеризуются низким содержанием органического вещества, слабощелочным pH, легко- и средне-суглинистым гранулометрическим составом. Судя по средним значениям удельной электропроводности *TDS*, почвы не засолены, несмотря на ежегодное применение ПГР и внесение удобрений в соседствующие с ними открытые почвы. Средняя удельная электропроводность, характеризующая содержание солей, равна 0,195 мСм/см, что в 15 раз ниже допустимого уровня 3,0 мСм/см [38]. Наиболее высокое содержание $C_{орг}$ имеют экраноземы рекреационной зоны, а щелочной pH — селитебной и промышленной зон. Существенной разницы в гранулометрическом составе между зонами не обнаружено, они везде преимущественно легкосуглинистые, а фоновые почвы супесчаные. По сравнению с почвами открытых участков экраноземы в среднем имеют в 1,5 раза более низкое содержание $C_{орг}$, более легкий гранулометрический состав, обладают близкой к незапечатанным почвам реакцией среды (pH = 8,0) и не накапливают солей в верхних горизонтах профиля.

Таблица 1

Физико-химические и химические свойства верхних горизонтов фоновых почв, экраноземов и незапечатанных почв в ВАО Москвы

Показатель	Глубина, см	$C_{орг}$, %	pH _v	<i>TDS</i> , мСм/см	Физическая глина, %	БП, мг/кг	НП, мг/кг
Фоновые дерново-подзолистые почвы Мещеры ($n^* = 10$)							
Среднее	0—25	0,73	4,9	0,03*	12,0	0,0034	0,00
Промышленная зона ВАО ($n = 6$)							
Среднее		1,68	8,11	0,173	22,7	0,449	2608
min-max	3—55	0,24—3,23	7,55—8,73	0,093—0,334	9,4—36,6	0,114—1,68	225—10000
Транспортная ($n = 7$)							
Среднее		2,23	7,87	0,174	24,5	0,142	5714
min-max	4—61	0,06—7,01	7,32—8,65	0,083—0,450	4,1—36,7	0,001—0,934	27—30800
Селитебная ($n = 13$)							
Среднее		2,11	8,19	0,260	24,0	0,0798	775,4
min-max	5—68	0,01—5,88	7,29—9,37	0,100—0,987	14,1—38,5	<0,001—0,449	<5—5000
Рекреационная ($n = 4$)							
Среднее		3,95	7,28	0,080	20,1	0,255	5005
min-max	5—60	1,47—6,34	6,49—7,70	0,059—0,116	10,5—26,4	<0,001—0,54	<5—14500
Экраноземы ВАО в целом ($n = 30$)							
Среднее		2,24	8,0	0,195	23,2	0,192	2858
min-max	3—68	0,03—7,01	6,49—9,37	0,059—0,450	4,1—38,5	<0,001—1,68	<5—30800
Незаасфальтированные почвы ВАО ($n = 52$)							
Среднее	0—20	3,35	7,8	0,48**	33,0	0,644	10000***

* n — число проб, ** плотный остаток солей, %, *** по данным работы [39].

Table 1

Physico-chemical and chemical properties of the upper horizons of background soils, ekranozems and unsealed soils in the EAD of Moscow

Index	Depth, cm	C _{org} , %	pH _{water}	TDS, dS/m	Physical clay, %	BaP, mg/kg	PP, mg/kg
Background sod-podzolic soils of Meshchera (n* = 10)							
Mean	0-25	0,73	4,9	0,03*	12,0	0,0034	0,00
Industrial zone of EAD (n = 6)							
Mean		1,68	8,11	0,173	22,7	0,449	2608
min-max	3-55	0,24-3,23	7,55-8,73	0,093-0,334	9,4-36,6	0,114-1,68	225-10000
Traffic zone (n = 7)							
Mean		2,23	7,87	0,174	24,5	0,142	5714
min-max	4-61	0,06-7,01	7,32-8,65	0,083-0,450	4,1-36,7	0,001-0,934	27-30800
Residential zone (n = 13)							
Mean		2,11	8,19	0,260	24,0	0,0798	775,4
min-max	5-68	0,01-5,88	7,29-9,37	0,100-0,987	14,1-38,5	<0,001-0,449	<5-5000
Recreational zone (n = 4)							
Mean		3,95	7,28	0,080	20,1	0,255	5005
min-max	5-60	1,47-6,34	6,49-7,70	0,059-0,116	10,5-26,4	<0,001-0,54	<5-14500
All ekranozems of EAD (n = 30)							
Mean		2,24	8,0	0,195	23,2	0,192	2858
min-max	3-68	0,03-7,01	6,49-9,37	0,059-0,450	4,1-38,5	<0,001-1,68	<5-30800
Unsealed soils of EAD (n = 52)							
Mean	0-20	3,35	7,8	0,48**	33,0	0,644	10000***

* n — number of samples, ** total amount of dissolved salts, %, *** according to data [38].

По уровню загрязнения БП и НП экраноземы также сильно отличаются от фоновых почв (табл. 1), характеризуюсь значительной неоднородностью и повышенными средними концентрациями. Превышение норматива по БП (0,02 мг/кг) достигает в среднем 9,6 ПДК, а фонового уровня — 56 раз. Допустимое содержание НП в городских почвах, составляющее < 300 мг/кг [37], в экраноземах превышено в 9,5 раза. Наиболее высокая степень загрязнения БП выявлена в почвах промышленной, а НП — транспортной и рекреационной зон. Качественный состав НП в экраноземах описывается как смесь окисленных веществ с высоким содержанием смолистых компонентов [22]. Экраноземы загрязнены БП и НП в 3,4—3,5 раза меньше, чем незапечатанные почвы.

Полученные в ВАО данные согласуются со сведениями об экраноземах г. Владимира, в которых рН колеблется в диапазоне 7,4—8,6, а среднее содержание НП в верхних горизонтах почв разных функциональных зон — от 560 до 910 мг/кг, что соответствует умеренному уровню загрязнения; в нижних горизонтах их концентрации уменьшаются до пределов 60—480 мг/кг, что оценивается как фоновый или слегка повышенный уровень [40]. Аналогичные оценки получены другими исследователями, изучавшими морфологическое строение профиля и свойства

экрanoземов в г. Москве [9; 10; 41; 42]. Ими установлено, что в ряде городских районов актуальная кислотность запечатанных почв по сравнению с зональными дерново-подзолистыми почвами отклоняется в сторону подщелачивания, значения pH колеблются в интервале 6,5–9,3. Экраноземы обогащены гумусом, его содержание варьирует от 0,5 до 6,0%, что так же превышает зональные параметры; гранулометрический состав преимущественно супесчаный и легкосуглинистый, с антропогенными включениями до 50%.

Вертикальное распределение загрязнителей в профиле экраноземов. В профиле экраноземов ниже Асф и ПГ, залегающих в среднем до глубины 20 см, рассматриваемые загрязнители распределяются в зависимости от степени трансформации физико-химических свойств отдельных горизонтов и возможностей их накопления на техногенных ГХБ (рис. 4).

Распределение содержания $C_{орг}$ в профиле почв имеет аккумулятивный характер с несколькими хорошо выраженными максимумами по всему профилю, причем накопление органики в нижних горизонтах *RAT* и *RT* проявляется лучше, чем в приповерхностном горизонте *UR* (рис. 4). Пики $C_{орг}$ до 2,8–3% на глубине около 100 и 170 см наблюдаются в почвах промышленной и транспортной зон, в то время как их приповерхностные аккумуляции не превышают 1,35%. Всем горизонтам почв в разных функциональных зонах свойственна нейтральная и щелочная реакция среды (рис. 4). Сильнощелочные значения $pH = 9,3–9,4$ установлены в горизонте *UR* селитебной зоны средней этажности, почвы которых даже на глубине 90 см имеют щелочную реакцию среды ($pH = 8,9$). В профиле почв других зон также прослеживаются несколько пиков щелочности на глубинах 50, 100–120 и 200 см.

Общее содержание ЛС в подасфальтовом горизонте *UR* невысокое ($TDS < 0,5$ мСм/см), но в средней и нижней частях профиля соли образуют несколько зон концентрации со значениями $TDS = 0,81–1,53$ мСм/см в горизонте *RAT* на глубинах 80, 100, 120 и 170 см (см. рис. 4) в результате их сезонного выщелачивания из верхней части профиля. Содержание физической глины (частиц $< 0,01$ мм) увеличивается до глубины 80 см от 15 до 35%, что указывает на преобладание легкосуглинистого гранулометрического состава (см. рис. 4). В нижней части профиля он становится средне- и тяжелосуглинистым, с содержанием физической глины 30–40 и 40–50% в горизонтах ТСН почв транспортной и селитебной зон.

БП в вертикальном профиле экраноземов распределен равномерно и только в почвах промышленной зоны отмечены две его приповерхностные аккумуляции в горизонте *UR* на глубине 25 и 50 см с содержанием 1,7 и 0,4 мг/кг и превышением ПДК в 20 и 85 раз соответственно (см. рис. 4). Третий небольшой пик накопления БП (около 0,1 мг/кг), выявленный в горизонте *RAT* на глубине 120–160 см, составляет 5 ПДК. Распределение НП по профилю экраноземов имеет аккумулятивный характер с несколькими хорошо выраженными максимумами (до пределов 585–2240 мг/кг) в верхней части профиля (гор. *UR* и *AYur*) и на глубине 100 см (гор. *RAT*) в селитебной и промышленной зонах (см. рис. 4), что превышает допустимую норму в 2–7,5 раза.

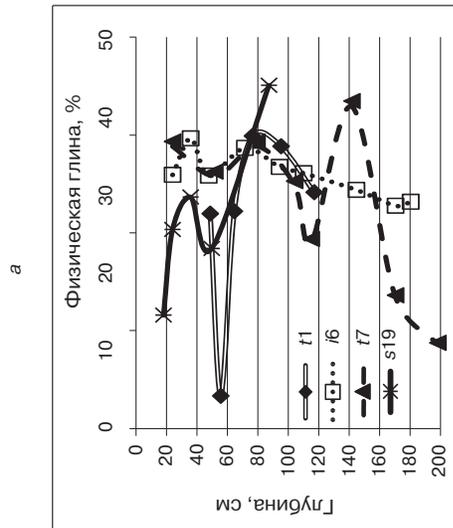
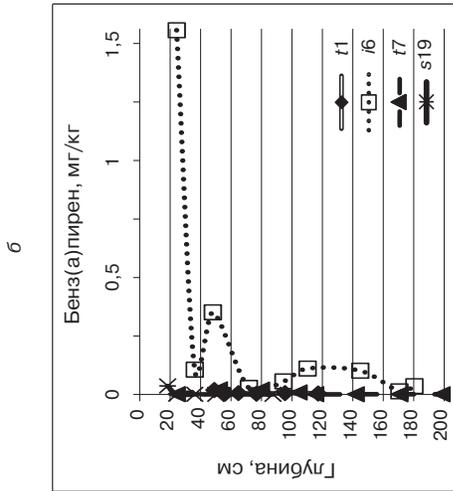
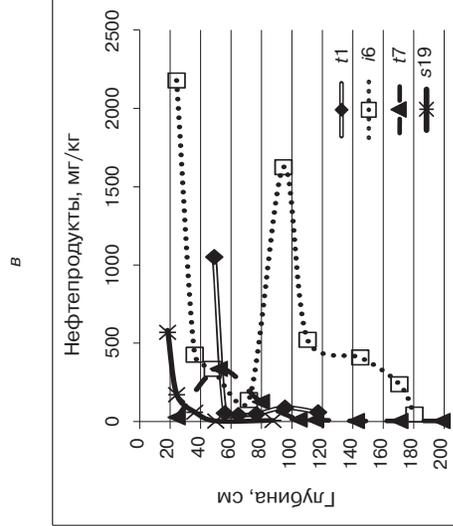
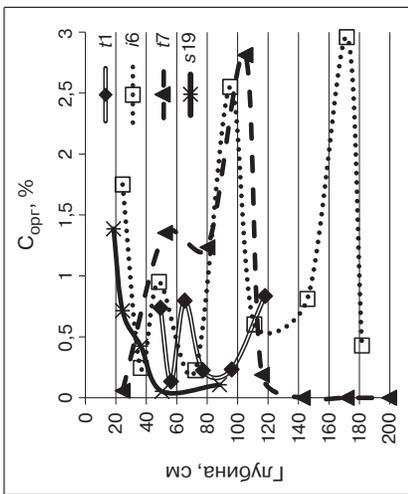
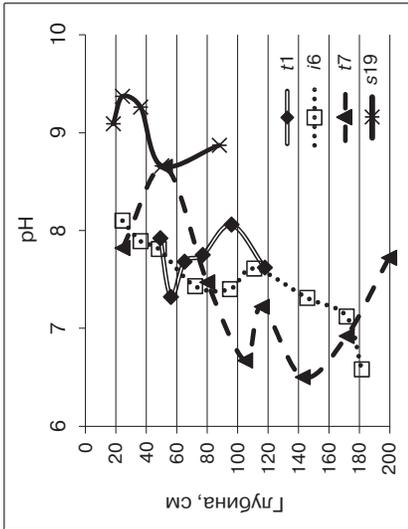
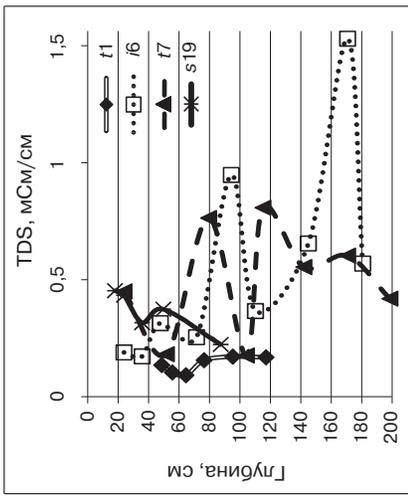
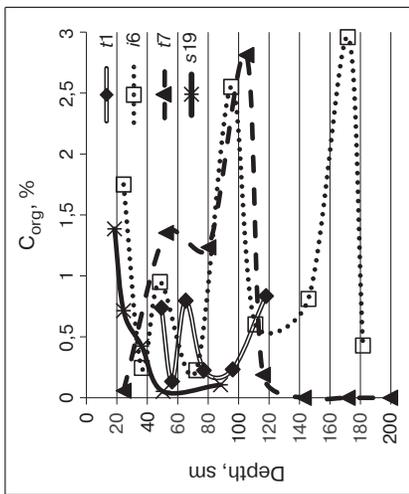
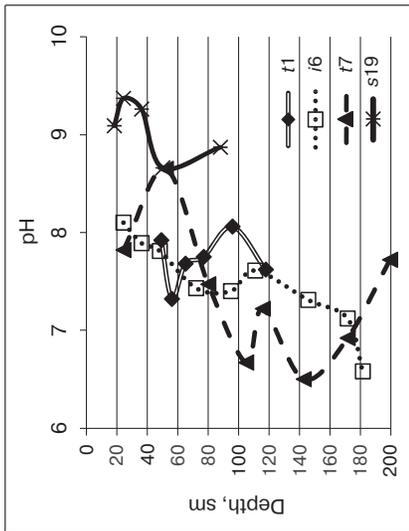
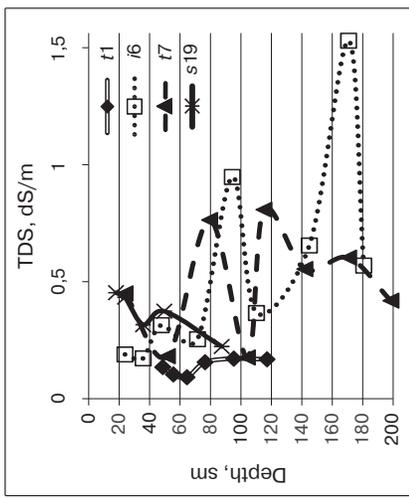


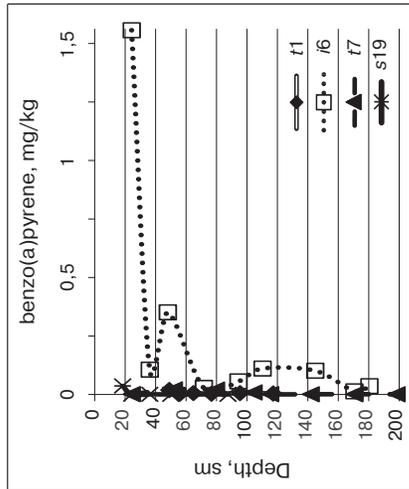
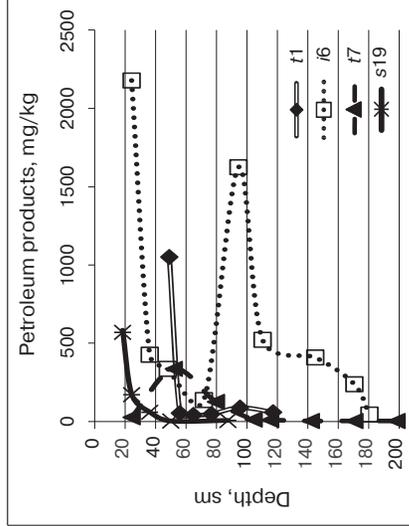
Рис. 4. Основные свойства и распределение загрязняющих веществ в вертикальном профиле экраноземов в разных функциональных зонах ВАО Москвы (а—е). Местоположение почвенных разрезов: t1 — транспортная зона (ул. Красный Казанец); i6 — промышленная зона (Кузовская улица); t7 — транспортная зона (Зеленый проспект); s19 — селитебная зона средней этажности (ул. Вешняковская)



a

b

c



d

e

f

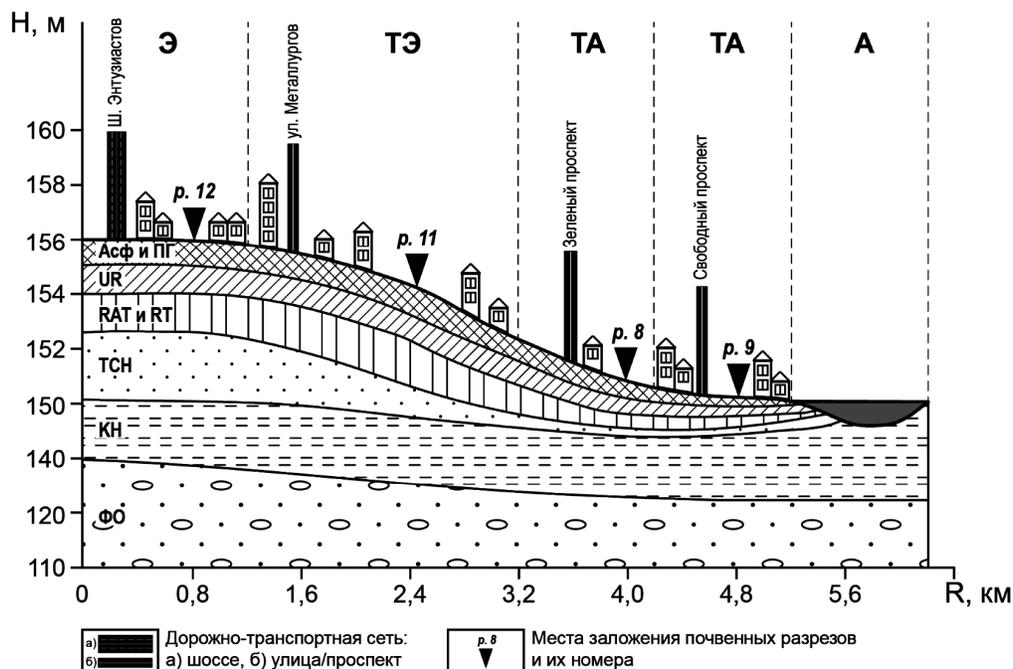
Fig. 4. The main properties and distribution of pollutants in the vertical profile of ekranozems in different land-use zones of the EAD in Moscow (a–f). Location of soil pits: t1 — traffic zone (Krasny Kazanets street); i6 — industrial zone (Kuskovskaya street); t7 — traffic zone (Zeleniy avenue); s19 — residential mid-rise zone (Veshnyakovskaya street)

Латеральное распределение загрязнителей в экраноземах. По условиям миграции загрязнителей на территории округа выделены элювиальные (автономные) и подчиненные (гетерономные) элементарные ландшафты (рис. 5). Применяемый катенарный подход дает возможность связать запечатанные почвы в единую сопряженную систему, в которой происходит миграция, трансформация и аккумуляция загрязняющих веществ, поступающих от техногенных источников. Искусственное покрытие в экраноземах создает в верхних горизонтах своеобразный парниковый эффект [6], усиливающий степень увлажнения их подэкранных слоев и способствующий образованию вертикальных (внутрипрофильных) и латеральных (склоновых) миграционных потоков загрязняющих веществ, способных накапливаться на техногенных ГХБ.

Изменения по длине катены в селитебной зоне ВАО основных почвенных показателей и загрязняющих веществ (рис. 5) показывают, что если значения $pH_{\text{в}}$ варьирует незначительно, то латеральное распределение $C_{\text{орг}}$, ЛС, БП, НП и отчасти физической глины, обнаруживает накопление в экраноземах трансаккумулятивных ландшафтов, представляющих собой нижние части склонов водоразделов. Аккумуляция поллютантов происходит на органоминеральном (сорбция органическим веществом почв) и сорбционно-седиментационном (сорбция на поверхности тонких фракций почвенных частиц) ГХБ [43], где концентрации БП и НП в 11 и 6,5 раз выше по сравнению с почвами элювиальных ландшафтов. Не менее интенсивно накапливаются ЛС — значения TDS в экраноземах элювиально-аккумулятивных ландшафтов почти в 10 раз выше, чем в автономной позиции.

Картографирование загрязнителей в экраноземах. Пространственную структуру загрязнения НП и БП приповерхностных горизонтов экраноземов отражают две карты на территорию округа, составленные по данным почвенной съемки в сентябре 2016 г. (рис. 6, 7). В связи с чрезвычайно высокой вариабельностью содержания НП и БП в приповерхностных горизонтах экраноземов интерполяцию загрязнителей при составлении карт провести не удалось, поэтому их содержание в точках отбора проб показано кружками разного диаметра. Основой для карт загрязнения НП и БП экраноземов послужила составленная авторами карта запечатанности почв в различных функциональных зонах ВАО Москвы (см. рис. 2).

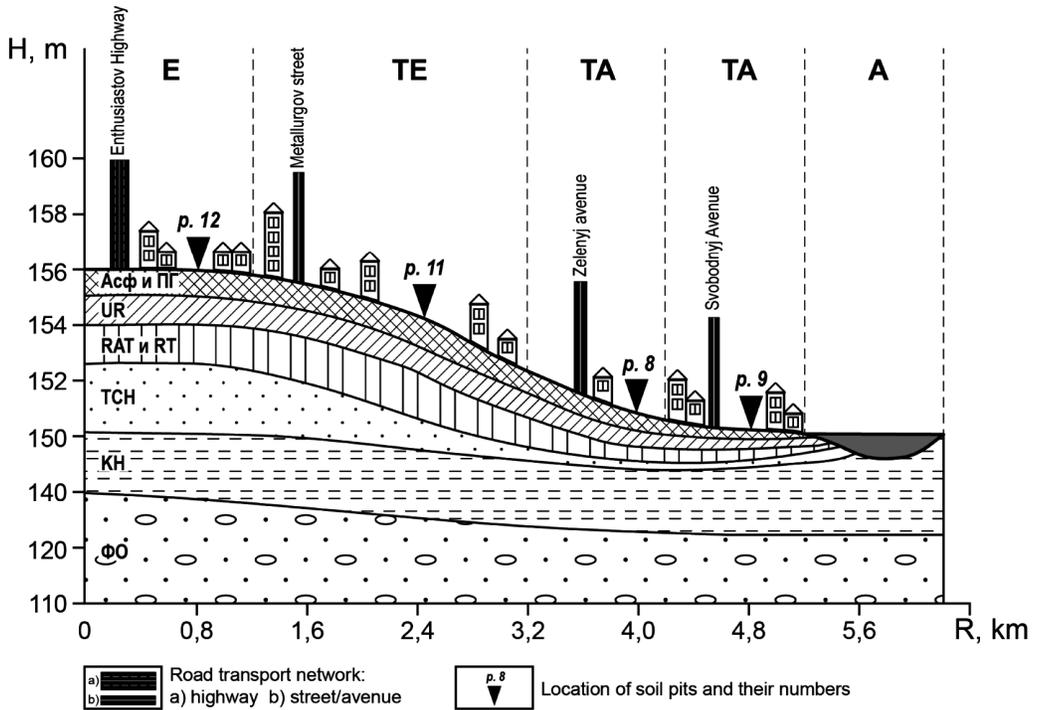
В экраноземах сформировались несколько крупных техногенных аномалий НП с содержанием в верхних горизонтах 3000—5000 мг/кг и выше, превышающим допустимую норму в 10—17 раз. Очень высокий и высокий уровни загрязнения НП отмечены в почвах с высокой и средней запечатанностью в транспортной и промышленной зонах (ул. Новокосинская, Вешняковская вблизи МКАД), а также в селитебной и рекреационной зонах (на Свободном проспекте и в пос. Ухтомский). Средний уровень загрязнения НП выявлен в почвах промышленной зоны, в рекреационной (Кусковский парк) и селитебной зоне (Свободный проспект). Низкий уровень загрязнения почв НП характерен для селитебной зоны со средней и высокой степенью запечатанности дворовых территорий. К незагрязненным почвам с допустимым содержанием НП < 300 мг/кг относятся некоторые селитебные и промышленные территории на севере и в центре округа.



Значения коэффициента L в элементарных ландшафтах

	Э	ТЭ	ТА	ТА
ρH_e	1,0	1,0	1,0	0,9
Гумус	1,0	0,9	3,4	2,1
Физическая глина	1,0	1,5	0,8	1,6
Соли	1,0	1,0	1,5	9,7
Бенз(а)пирен	1,0	1,4	4,1	11,1
Нефтепродукты	1,0	1,5	5,2	6,5

Рис. 5. Городская южно-таежная катена с экраноземами селитебной зоны на культурных наносах, подстилаемых флювиогляциальными отложениями в ВАО Москвы. *Элементарные геохимические ландшафты:* Э — элювиальный (выположенная поверхность водораздела); ТЭ — трансэлювиальный (пологие склоны); ТА — трансаккумулятивный (нижние части склонов); А — аквальный. *Горизонты в профиле экраноземов — см. обозначения к рис. 3; КН — культурные наносы; ФО — флювиогляциальные отложения*



The values of the coefficient L in the elementary landscapes

	E	TE	TA	TA
pH_{water}	1,0	1,0	1,0	0,9
C_{org}	1,0	0,9	3,4	2,1
Physical clay	1,0	1,5	0,8	1,6
Salts	1,0	1,0	1,5	9,7
Benzo(a)pyrene	1,0	1,4	4,1	11,1
Petroleum products	1,0	1,5	5,2	6,5

Fig. 5. Urban south-taiga catena with ekranozems on cultural deposits in the residential zone, underlain by fluvio-glacial deposits in the EAD of Moscow. *Elementary geochemical landscapes:* E — eluvial (watershed surface); TE — trans-eluvial (gentle slopes); TA — trans-accumulative (footslopes); A — aquatic. *Horizons in the profile of ekranozems:* see designations in fig. 3; KH — cultural deposits; ФО — fluvio-glacial deposits

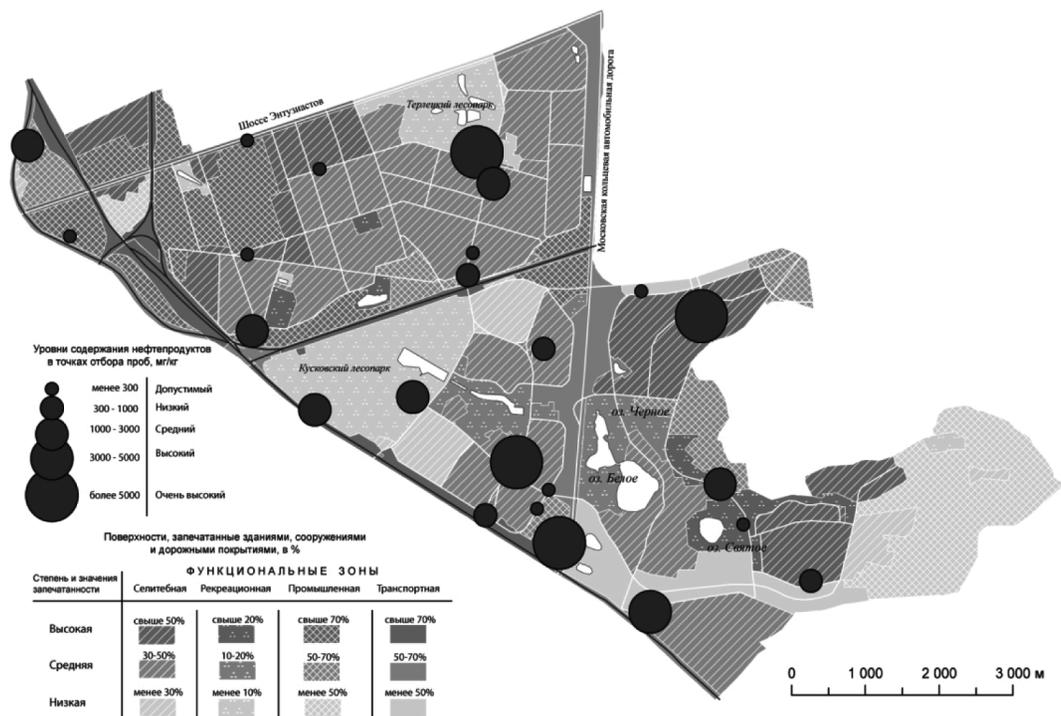


Рис. 6. Техногенные аномалии нефтепродуктов в верхних горизонтах экраноземов ВАО Москвы

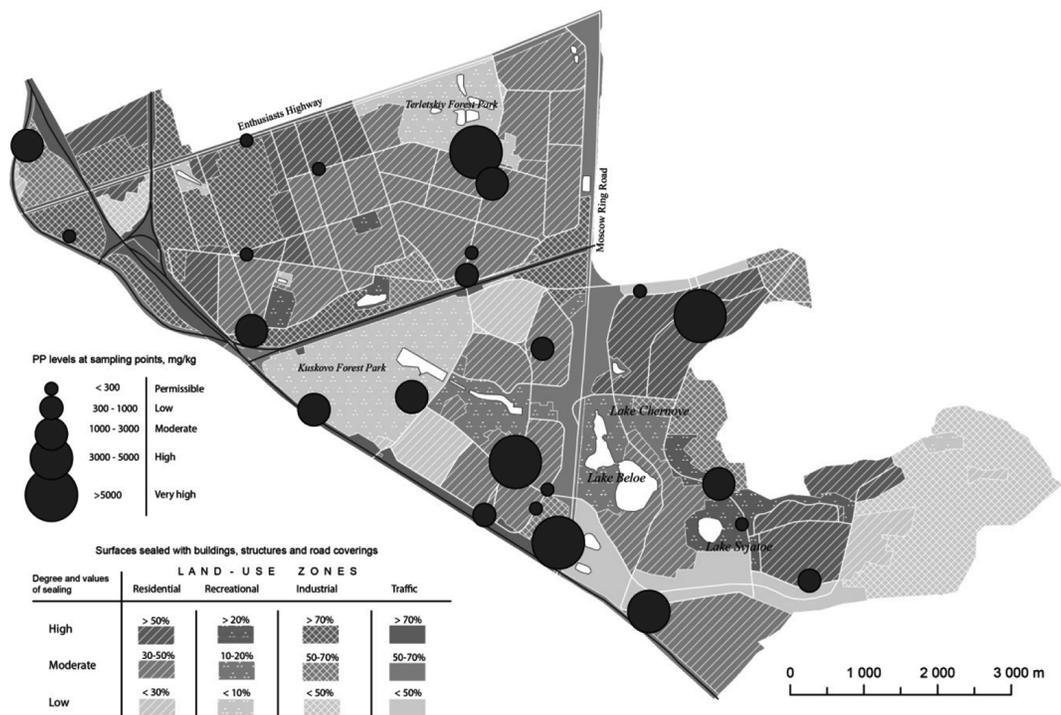


Fig. 6. Man-caused anomalies of petroleum products in the upper horizons of the ekranozems in the EAD of Moscow

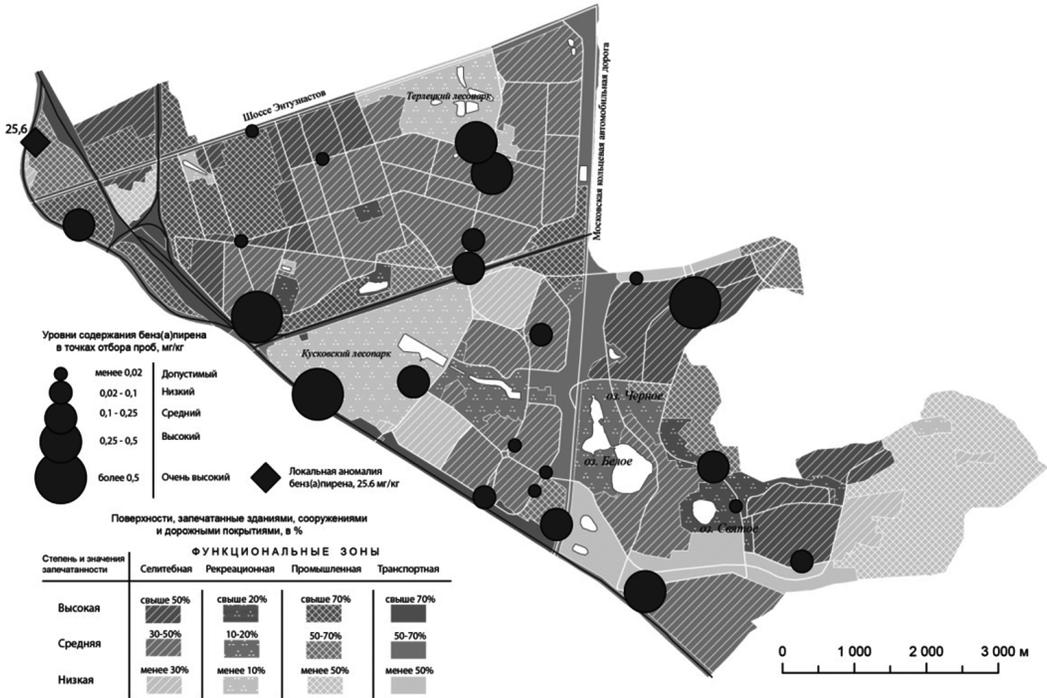


Рис. 7. Техногенные аномалии бенз(а)пирена в верхних горизонтах экраноземов ВАО Москвы

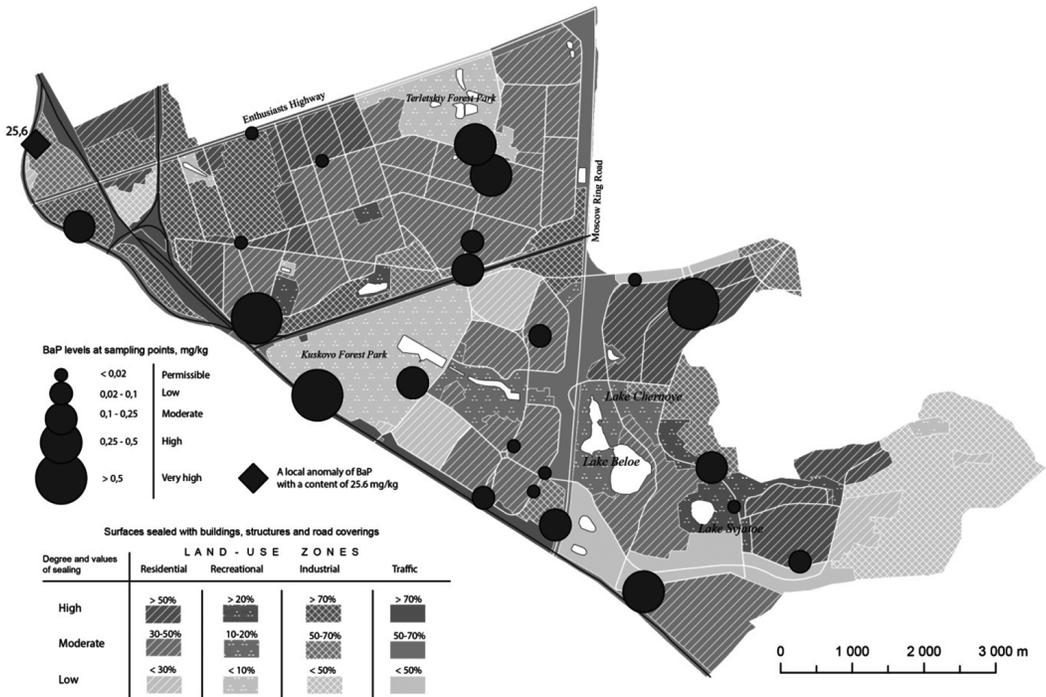


Fig. 7. Man-caused anomalies of benzo(a)pyrene in the upper horizons of the ekranozems in the EAD of Moscow

Пространственное распределение БП в поверхностных горизонтах экраноземов (см. рис. 7) близко к распределению НП (см. рис. 6), так как оба органических загрязнителя — углеводороды и имеют общее происхождение. Вместе с тем, имеются и различия. Из карты (см. рис. 7) видно, что по сравнению с НП, очень высокие и высокие содержания БП ($> 0,5$ и $0,25—0,5$ мг/кг, что соответствует $12,5—25$ ПДК и более) приурочены к запечатанным почвам транспортной и промышленной зон на северо-западе, западе и востоке территории. Эти техногенные аномалии БП образовались под влиянием выбросов и стоков промышленных зон «Соколиная гора», «Прожектор», «Перово» и районной тепловой станции. Высокие концентрации БП выявлены также в жилых кварталах (Свободный пр-кт, пос. Ухтомский), в рекреационной (Кусковский парк, ул. Metallургов) и транспортной зонах (ул. Новокосинская). Аномалии БП со средним уровнем загрязнения экраноземов ($0,1—0,25$ мг/кг, т.е. $5—12,5$ ПДК) располагаются преимущественно в промышленной зоне с высокой и средней степенью запечатанности). Допустимый и низкий уровень загрязнения БП ($< 0,02$ и $0,02—0,1$ мг/кг, т.е. $1—5$ ПДК) имеют в основном экраноземы в селитебной зоне, несколько точек с таким уровнем содержания БП находится в транспортной зоне.

Техногенные аномалии БП в поверхностном горизонте открытых почв постагрогенной зоны на востоке округа (пос. Кожухово, Руднево) всего 7 лет назад были относительно невысоки, с концентрациями $0,034—0,068$ мг/кг, т.е. в пределах $1,7—3,4$ ПДК. После ввода в эксплуатацию в 2003 г. мусоросжигательного завода [44], несмотря на удаленность от жилой зоны, его негативное влияние ощущается в районах Новокосино, Ухтомский и Кожухово, жители которых пишут в управу округа обеспокоенные письма об экологических условиях их проживания [45].

Сравнение среднего содержания БП в экраноземах (см. табл. 1) с незапечатанными почвами ВАО [44; 46] показывает, что почвы открытых участков, по данным 2010 г., имеют более высокие концентрации БП, чем их запечатанные аналоги, различия достигают 3,4 раза. При малой проницаемости асфальтобетона содержание этого углеводорода в экраноземах довольно значительно, что можно объяснить низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала, при котором происходит консервация БП и он может сохраняться в почвах несколько десятков лет [47]. В целом геохимическое состояние запечатанных почв ВАО по содержанию БП и НП можно охарактеризовать как экологически неблагоприятное, а на отдельных участках как опасное. Техногенные аккумуляции рассматриваемых углеводородов высокой контрастности формируются во всех функциональных зонах, при этом они более характерны для промышленной и транспортной зон с высокой степенью запечатанности почв.

Неблагоприятные изменения в городских почвах при их покрытии асфальтобетоном создают реальную опасность для городской среды и здоровья горожан, поэтому во многих городах ведется борьба с запечатыванием почв. В Европе считают, что низкая степень запечатанности почв благоприятна для жителей, так как уменьшает степень техногенной трансформации городской среды. Городам требуется продуманный подход к планированию городской застройки с уменьшением запечатанности почв там, где это возможно, и с использованием всех возможностей для расширения незапечатанных и зеленых зон, включая дополни-

тельные элементы озеленения и частично запечатанные полупроницаемые покрытия — замощенные плиткой или камнем тротуары и мостовые [48]. Улучшению экологической обстановки в Москве будет способствовать намеченное в ближайшие годы превращение 15% запечатанных почв в открытые [49].

Выводы

Полученные для экраноземов Восточной Москвы геохимические данные свидетельствуют о том, что, с одной стороны, городские экраноземы не соответствуют традиционному определению почвы как природного естественно-исторического тела, с другой, — они являются типичным биокосным образованием, состоящим из твердой, жидкой, газовой и живой фаз (преимущественно микроорганизмов), выполняющих важные биоценотические и экологические функции в урбоэкосистеме, где доминирующую роль играют не природные, а антропогенные факторы почвообразования. Искусственный экран воздействует на характер функционирования почв, изменяя их водно-воздушный режим, морфологический профиль, физико-химические свойства и уровень загрязнения.

Экраноземы Восточного округа Москвы имеют низкое содержание органического вещества (в среднем 2,24%), щелочной рН (8,0), легкосуглинистый гранулометрический состав (физическая глина 23,2%). Максимальное содержание $C_{орг}$ (3,95%) свойственно рекреационной зоне, а повышенная щелочность (рН > 8,0) — селитебной и промышленной зонам. Несмотря на применение ПГР и минеральных удобрений запечатанные почвы не засолены: удельная электропроводность почвенного раствора в верхней части профиля, характеризующая содержание ЛС, в среднем почти в 15 раз ниже допустимого уровня. Соли накапливаются преимущественно в средней и нижней частях профиля, образуя максимумы в гор. *RAT*.

Экраноземы ВАО характеризуются почти 10-кратным превышением нормативов по БП и НП, что в 3,5 раза меньше, чем у незапечатанных почв. При этом для них характерна более высокая вариабельностью содержаний БП и НП. Профильное распределение БП, как правило, равномерное, за исключением промышленной зоны, а НП — аккумулятивное с несколькими хорошо выраженными максимумами в разных частях профиля. В результате латеральной миграции БП и НП накапливаются в экраноземах нижних частей склонов, где они образуют аккумуляции на органоминеральном и сорбционно-седиментационном ГХБ. Высококонтрастные техногенные аккумуляции углеводов формируются преимущественно в экраноземах промышленной и транспортной зон.

По морфологии, свойствам, вертикальной и латеральной миграционной структуре экраноземы Восточной Москвы существенно отличаются от почв открытых городских территорий. Запечатанные почвы характеризуются более низким содержанием органических веществ, близким рН, более легким гранулометрическим составом и отсутствием засоления. Хотя зональный промывной тип водного режима в экраноземах действует не в полной мере, атмосферные осадки частично проникают под асфальт, формируя миграционные потоки и контрастные аномалии углеводов и ЛС. При вскрытии асфальта могут возникнуть риски, связанные с миграцией накопившихся углеводов в другие компоненты ландшафта, включения их в биологический круговорот и пищевые цепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Глазовская М.А., Солнцева Н.П., Геннадиев А.Н. Технопедогенез: формы проявлений / Успехи почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 106–112.
- [2] Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация). М.: Ойкумена, 2003. 266 с.
- [3] FAO/ISRIC. Guidelines for Soil Profile Description. 3th ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2000.
- [4] Гезенцевей Л.Б., Горельшев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
- [5] Мануйлов М.Б., Московкин В.М. Влияние поверхностного стока (дождевых и талых вод) на экологическую и техногенную ситуацию в городах // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 2. С. 35–47.
- [6] Wessolek G. Sealing of soils / Urban ecology, an international perspective on the interaction between humans and nature. Springer, 2008. Pp. 161–179.
- [7] Burghardt W. Soil sealing ways, constraints, benefits and management / Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Eds. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. P. 169–175.
- [8] Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Eds. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. 275 p.
- [9] Строганова М.Н., Прокофьева Т.В. Влияние дорожного покрытия на городские почвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17: Почвоведение. 1995. № 2. С. 3–11.
- [10] Прокофьева Т.В. Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями (на примере г. Москвы): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1998. 24 с.
- [11] Забелина О.Н., Злышко А.С. Биологическая активность запечатанной почвы урбанизированных территорий // Успехи современного естествознания. 2015. № 5. С. 167–170.
- [12] Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.
- [13] European Environment Agency. Электронный источник URL: <http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe> (дата обращения: 14.12.2017).
- [14] Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- [15] Битюкова В.Р., Саульская Т.Д. Изменение антропогенного воздействия производственных зон Москвы в постсоветский период // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2017. № 3. С. 34–41.
- [16] Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Long-Term Dynamics of Urban Soil Pollution with Heavy Metals in Moscow // Applied and Environmental Soil Science. 2016. Vol. 2016. 10 pp. DOI: 10.1155/2016/5602795
- [17] Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Н.С. Касимов, В.Р. Битюкова, С.М. Малхазова и др. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.
- [18] Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Многолетняя динамика антропогенного засоления почв Москвы (на примере Восточного округа) // Почвоведение. 2014. № 3. С. 351–363.
- [19] Систер В.Г., Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период. М.: Центр МГУИЭ, 2004. 159 с.
- [20] Хомяков Д.М. Москва слезам не верит. О противогололедных реагентах, используемых в Москве за зимний период и их объеме // Дорожная держава. 2015. Вып. 58. С. 91–95.
- [21] Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В., Степанов А.Л., Мяжкова А.Д., Курбатова А.С. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006. № 5. С. 603–615.

- [22] Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Основы нефтегазовой геоэкологии. М.: ИНФРА-М, 2015. 400 с.
- [23] Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах / под ред. А.Н. Геннадиева и Ю.И. Пиковского. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 192 с.
- [24] Jacob J. The significance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. 35 years research on PAH — a retrospective. *Polycycl. Aromat. Compd.*, 2008. 28 (4-5). 242—272.
- [25] Khalili N.R., Scheff P.A., Holsen T.M. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions // *Atmos. Environ.*, 1995. Vol. 29. P. 533—542.
- [26] Larsen R.K., Baker J.E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods. *Environ. Sci. Technol.* 2003. 37 (9). 1873—1881. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es0206184> (дата обращения: 14.12.2017).
- [27] Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. *Environ. Pollut.* 1995. 88 (1). 91—108. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M) (дата обращения: 14.12.2017).
- [28] Wania F., MacKay D. Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants. *Environ. Sci. Technol.* 1996. 30 (9). 390A—396A. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es962399q> (дата обращения: 14.12.2017).
- [29] Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles. *Environ. Pollut.* 1999. 105 (1). 67—74. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00207-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00207-3) (дата обращения: 14.12.2017).
- [30] Fernández P., Vilanova R.M., Martínez C., Appleby P., Grimalt J.O. The Historical Record of Atmospheric Pyrolytic Pollution over Europe Registered in the Sedimentary PAH from Remote Mountain Lakes. *Environ. Sci. Technol.* 2000. 34 (10). 1906—1913. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es9912271> (дата обращения: 14.12.2017).
- [31] Nam J.J., Sweetman A.J., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in global background soils. *J. Environ. Monit.* 2009. 11 (1). 45—48. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/B813841A> (дата обращения: 14.12.2017).
- [32] Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Полициклические ароматические углеводороды в городских почвах (Москва, Восточный округ) // *Почвоведение.* 2011. № 9. С. 1—13.
- [33] Экологический атлас Москвы. М.: Изд-во «АБФ/АВФ», 2000. 96 с.
- [34] Касимов Н.С., Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 1. Картографическое обеспечение // *Геоинформатика.* 2012. № 4. С. 37—45.
- [35] Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.
- [36] Таргульян В.О., Козловский Ф.И., Караваева Н.А., Александровский А.Л. Проблема эволюции почв в докучаевском почвоведении / 100 лет генетического почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 104—117.
- [37] Солнцева Н.П. Морфогенетический анализ техногенно преобразованных почв // *Почвоведение.* 1990. № 1. С. 96—101.
- [38] Экологические требования к почвам и грунтам г. Москвы / под ред. Н.Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2005. 32 с.
- [39] Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Краснопеева А.А., Пузанова Т.А. Природные и техногенные углеводородные геохимические поля в почвах: концепция, типология, индикационное значение // *Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской*; под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. С. 236—258.
- [40] Забелина О.Н. Интегральная токсичность городских запечатанных почв // *Актуальные вопросы современной науки.* 2015. №8. С. 15-18.
- [41] Строганова М.Н., Мяжкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах // *Почвоведение.* 1997. № 8. С. 124—129.
- [42] Строганова М.Н. Городские почвы: генезис, систематика и экологическое значение (на примере Москвы): автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1998. 71 с.

- [43] Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах: типология, функциональные особенности и экологическое значение // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской; под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. С. 26–44.
- [44] Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Vlasov D.V. Benzo[a]pyrene in urban environments of eastern Moscow: pollution levels and critical loads // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017. Vol. 17. P. 2217–2227.
- [45] О состоянии окружающей среды в г. Москве в 2014 году / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДП и ООС; НИА Природа, 2015. 384 с.
- [46] Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а)пирена в городских почвах (на примере ВАО Москвы) // *Вест. Моск. ун-та. Сер. 17: Почвоведение*. 2011. № 2. С. 25–35.
- [47] Чернянский С.С., Геннадиев А.Н., Алексеева Т.А., Пиковский Ю.И. Органофильный профиль дерново-глеевой почвы с высоким уровнем загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами // *Почвоведение*. 2001. № 11. С. 1312–1322.
- [48] Burghardt W., von Bertrab M. Dialeimmasol, urban soil of pavements // *J Soils Sediments*. 2016. Vol. 16. Issue 11. Pp. 2500–2513. doi:10.1007/s11368-016-1526-y
- [49] Vasenev V.I., Stoorvogel J.J., Ibatulina S.A., Romzaykina O.N., Moedt E., Kanaeva S.A., Ivashchenko K.V., Ananyeva N.D., Dovletyarova E.A. Urbanization in New Moscow: challenges and perspectives for soil resources / *SUITMA 9. 9th international congress “Soils of Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas”*. Russia, Moscow, 22-26 May 2017. Abstract book. P. 224–228.

Дополнительная информация:

Конфликты интересов, связанные с рукописью, отсутствуют.

Финансирование:

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-27-00083-П).

Участие авторов:

Никифорова Е.М. — постановка проблемы, интерпретация результатов; Кошелева Н.Е. — сбор и анализ полученных данных; Т.С. Хайбрахманов — обработка материалов.

© Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 25.07.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Эколого-геохимическая оценка состояния запечатанных почв Восточной Москвы // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 4. С. 480–509. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509

Сведения об авторах:

Никифорова Елена Михайловна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ. E-mail: nikiforova-geo@mail.ru

Кошелева Наталья Евгеньевна — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ. E-mail: nataalk@mail.ru

Хайбрахманов Тимур Салаватович — кандидат географических наук, заместитель руководителя департамента группы компаний «СКАНЭКС». E-mail: haibrahmanov@scanex.ru

ENVIRONMENTAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SEALED SOILS IN THE EASTERN MOSCOW

E.M. Nikiforova¹, N.E. Kosheleva¹, T.S. Khaybrakhmanov²

¹ Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory, 1, Moscow, Russia, 119991

² Engineering and Technology Center “SCANEX”

Kiev highway p. 1. Business Park «Rumyantsevo», A, 8 entrance, office 732, Moscow, Russia, 108811

Sealed with road coverings soils in the Eastern Administrative District (EAD) of Moscow were studied, their morphological and physico-chemical properties have been established in various land-use zones, their ecological and geochemical state and level of readily soluble salts and priority organic pollutants — petroleum products (PP) and benzo(a)pyrene (BaP) as compared with background and open urban soils. The article is based on the results of soil-geochemical survey of ekranozems in September 2016 and previously obtained analytical data from an unsealed territory in the southern part of the EAD. A mapping technique was developed and a map of degree of soil sealing in the EAD was compiled. The morphological features and the basic properties of ekranozem's horizons in different land-use zones of the EAD were determined. They have a low content of organic matter (2,24%), an alkaline pH (8,0), light loamy texture. Despite the use of de-icing salts and mineral fertilizers, the upper part of the profile of the sealed soils is not saline, salts accumulate mainly in the middle and lower parts of the profile, forming maxima in the RAT horizon.

Screening of soils with asphalt concrete is not an obstacle to the penetration of technogenic flows of polluting substances — salts, PP, BaP, capable of accumulating in increased concentrations and forming pronounced technogenic anomalies. The average BaP content in the sealed soils exceeds the background level by 56 times, and the MPC — by 9,6 times. The permissible content of PP in ekranozems is exceeded by 9,5 times. However, in comparison with unsealed soils, the content of BaP and PP in ekranozems is 3,5 times less. The vertical distribution of the BaP is, as a rule, uniform, with the exception in the industrial zone, and for the PP it is accumulative with several well-defined maxima in different parts of the profile. As a result of lateral migration, BaP and PP accumulate in the sealed soils of the lower parts of the slopes, where they form accumulations on organomineral and sorption-sedimentative geochemical barriers. High-level man-made accumulations of hydrocarbons are formed mainly in the sealed soils of industrial and transport zones. When opening the asphalt, risks associated with the migration of hydrocarbons to other components of the landscape, including them in the biological cycle and food chains may appear.

Key words: sealed soils, Moscow, morphological features, physicochemical properties, pollution, petroleum products, benzo(a)pyrene

REFERENCES

- [1] Glazovskaya M.A., Solntseva N.P., Gennadiev A.N. Techno-pedogenesis: forms of manifestations. *Success of soil science*. Moscow: Nauka, 1986. P. 106–112. (In Russ).
- [2] Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofieva T.V. Anthropogenic soils (genesis, geography, reclamation). Moscow: Oikumena, 2003. 266 p. (In Russ).
- [3] FAO/ISRIC. Guidelines for Soil Profile Description. 3th ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2000.
- [4] Gesentsvey L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavsky A.M., Korolev I.V. Road asphalt concrete. Moscow: Transport, 1985. 350 p. (In Russ).
- [5] Manuylov M.B., Moskovkin V.M. Influence of surface run-off (rain and thawed waters) on the ecological and technogenic situation in cities. *Water and ecology: problems and solutions*. 2016. 2: 35–47 (In Russ).
- [6] Wessolek G. Sealing of soils. *Urban ecology, an international perspective on the interaction between humans and nature*. Springer, 2008. Pp. 161–179.
- [7] Burghardt W. Soil sealing ways, constraints, benefits and management. *Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment*. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw, editors. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. P. 169–175.
- [8] Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw, editors. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. 275 p.
- [9] Stroganova M.N., Prokofyeva T.V. Influence of road covering on urban soils. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 1995. 2: 3–11.
- [10] Prokofyeva T.V. Urban soil, sealed with road surfaces (based on the example of Moscow). PhD Thesis. Moscow: MSU, faculty of soil science, 1998. 24 p. (In Russ).
- [11] Zabelina O.N., Zlyvko A.S. Biological activity of the sealed soil on urbanized territories. *Progresses of modern natural science*. 2015. No. 5. Pp. 167–170. (In Russ).
- [12] Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Eurasian Soil Science*. 2011. 44 (5): 561–571.
- [13] European Environment Agency. URL: <http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe> (date of access: 14.12.2017).
- [14] Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Geochemistry of the landscapes in the Eastern Moscow. Moscow: APR, 2016. 276 p. (In Russ).
- [15] Bityukova V.R., Saulskaya T.D. Change in the anthropogenic impact of industrial zones in Moscow in the post-Soviet period. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 5, Geografiya*. 2017. 3. (In Russ).
- [16] Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Long-Term Dynamics of Urban Soil Pollution with Heavy Metals in Moscow. *Applied and Environmental Soil Science*. 2016. 2016: 10 pp. DOI: 10.1155/2016/5602795
- [17] Regions and cities of Russia: an integral assessment of the environmental state. N.S. Kasimov, V.R. Bityukova, S.M. Malkhazova et al. Moscow: IP Filimonov MV, 2014. 560 p. (In Russ).
- [18] Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Long-term dynamics of the anthropogenic salinization of soils in Moscow (by the example of the Eastern district). *Eurasian Soil Science*. 2014. 47 (3): 203–215.
- [19] Sister V.G., Koretsky V.E. Engineering and environmental protection of the water system of the northern megapolis in winter. Moscow: TsentrMGUIE, 2004. 159 p. (In Russ).
- [20] Khomyakov D.M. Moscow does not believe in tears. On the de-icing reagents used in Moscow for the winter period and their volume. *The Road Power*, 2015. 58: 91–95 (In Russ).
- [21] Smagin A.V., Azovtseva N.A., Smagina M.V., Stepanov A.L., Myagkova A.D., Kurbatova A.S. Criteria and methods to assess the ecological status of soils in relation to the landscaping of urban territories. *Eurasian Soil Science*. 2006. 39 (5): 539–551.

- [22] Pikovsky Yu.I., Ismayilov N.M., Dorokhova M.F. Fundamentals of oil and gas geoecology. Moscow: INFRA-M, 2015. 400 p. (In Russ).
- [23] Geochemistry of polycyclic aromatic hydrocarbons in rocks and soils. A.N. Gennadiyev, Yu.I. Pikovsky, editors. Moscow: Moscow University Publishing House, 1996. 192 p. (In Russ).
- [24] Jacob J. The significance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. 35 years research on PAH — a retrospective. *Polycycl. Aromat. Compd.* 2008; 28 (4-5): 242—272. <http://dx.doi.org/10.1080/10406630802373772>
- [25] Khalili N.R., Scheff P.A., Holsen T.M. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. *Atmos. Environ.* 1995; 29: 533—542.
- [26] Larsen R.K., Baker J.E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods. *Environ. Sci. Technol.* 2003. 37 (9): 1873—1881. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es0206184> (date of access: 14.12.2017).
- [27] Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. *Environ. Pollut.* 1995. 88 (1): 91—108. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M) (date of access: 14.12.2017).
- [28] Wania F., MacKay D. Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants. *Environ. Sci. Technol.* 1996. 30 (9): 390A—396A. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es962399q> (date of access: 14.12.2017).
- [29] Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles. *Environ. Pollut.* 1999. 105 (1): 67—74. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00207-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00207-3) (date of access: 14.12.2017).
- [30] Fernández P., Vilanova R.M., Martínez C., Appleby P., Grimalt J.O. The Historical Record of Atmospheric Pyrolytic Pollution over Europe Registered in the Sedimentary PAH from Remote Mountain Lakes. *Environ. Sci. Technol.* 2000. 34 (10): 1906—1913. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es9912271> (date of access: 14.12.2017).
- [31] Nam J.J., Sweetman A.J., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in global background soils. *J. Environ. Monit.* 2009. 11 (1): 45—48. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/B813841A> (date of access: 14.12.2017).
- [32] Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils (Moscow, Eastern District). *Eurasian Soil Science.* 2011. 44 (8): 1018—1030.
- [33] Ecological atlas of Moscow. Moscow: ABF/ABF Publishing House, 2000. 96 p. (In Russ).
- [34] Kasimov N.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaybrakhmanov T.S. Geoinformation landscape-geochemical mapping of urban areas (on the example of EAD in Moscow). 1. Cartographic support. *Geoinformatics.* 2012. 4: 37—45 (In Russ).
- [35] Orlov D.S. Chemistry of soils. Moscow: Moscow University Publishing House, 1985. 376 p. (In Russ).
- [36] Targulyan V.O., Kozlovsky F.I., Karavaeva N.A., Aleksandrovsky A.L. The problem of soil evolution in Dokuchaev soil science. *100 years of genetic soil science.* Moscow: Nauka, 1986. P. 104—117. (In Russ).
- [37] Solntseva N.P. Morphogenetic analysis of technogenically transformed soils. *Eurasian Soil Science.* 1990. 1: 96—101 (In Russ).
- [38] Ecological Requirements for Soils and Grounds in Moscow. N.F. Ganjara, editor. Moscow: Agroconsult, 2005. 32 pp. (In Russ).
- [39] Pikovsky Yu.I., Gennadiyev A.N., Krasnoperova A.A., Puzanova T.A. Natural and technogenic hydrocarbon geochemical fields in soils: concept, typology, indicator significance. *Geochemistry of landscapes and geography of soils. 100th Anniversary of the Birth of M.A. Glazovskaya.* N.S. Kasimov, M.I. Gerasimova, editors. Moscow: APR, 2012. P. 236—258. (In Russ).
- [40] Zabelina O.N. Integral toxicity of urban sealed soils. *Topical issues of modern science.* 2015. 8: 15—18. (In Russ).
- [41] Stroganova M.N., Myagkova A.D., Prokofyeva T.V. The Role of Soils in Urban Ecosystems. *Eurasian Soil Science.* 1997. 8: 124—129.
- [42] Stroganova M.N. Urban Soils: Genesis, Systematics and Ecological Importance (by the Example of Moscow). Diss. Thesis of Doctor of Biological sciences. Moscow: MSU, 1998. 71 p. (In Russ).

- [43] Glazovskaya M.A. Geochemical barriers in soils: typology, functional features and ecological significance. *Geochemistry of landscapes and geography of soils. 100th Anniversary of the Birth of M.A. Glazovskaya*. N.S. Kasimov, M.I. Gerasimova, editors. Moscow: APR, 2012. Pp. 26–44. (In Russ).
- [44] Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Vlasov D.V. Benzo[a]pyrene in urban environments of eastern Moscow: pollution levels and critical loads. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017. 17: 2217–2227. DOI 10.5194/acp-17-2217-2017
- [45] On the state of the environment in Moscow in 2014. A.O. Kulbachevsky, editor. Moscow: DP and OOS; NIA Nature, 2015. 384 p. (In Russ).
- [46] Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Long-term dynamics and factors of accumulation of benzo(a) pyrene in urban soils (by the example of the EAD in Moscow). *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2011. 66 (2): 65–74 (In Russ).
- [47] Chernyanskiy S.S., Alekseeva T.A., Gennadiev A.N., Pikovskii Y.I. Organic profile of soddy-gley soil strongly polluted by polycyclic aromatic hydrocarbons. *Eurasian Soil Science*. 2001. 34 (11): 1170–1179.
- [48] Burghardt W., von Bertrab M. Dialeimmasol, urban soil of pavements. *J Soils & Sediments*. 2016. 16 (11): 2500–2513. doi:10.1007/s11368-016-1526-y
- [49] Vasenev V.I., Stoorvogel J.J., Ibatulina S.A., Romzaykina O.N., Moedt E., Kanaeva S.A., Ivashchenko K.V., Ananyeva N.D., Dovletyarova E.A. Urbanization in New Moscow: challenges and perspectives for soil resources. SUITMA 9. 9th international congress “Soils of Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas”. Russia, Moscow, 22–26 May 2017. Abstract book. P. 224–228.

Article history:

Received: 25.07.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaybrakhmanov T.S. (2017) Environmental and geochemical assessment of sealed soils in the Eastern Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 480–509. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509

Bio Note:

Nikiforova Elena Mihajlovna — candidate of geographical Sciences, senior researcher of the Department of landscape Geochemistry and soil geography, Geographical faculty of Moscow state University. E-mail: nikiforova-geo@mail.ru

Kosheleva N.E. — doctor of geographical Sciences, leading researcher of the Department of landscape Geochemistry and soil geography, Geographical faculty of Moscow state University. E-mail: nataalk@mail.ru

Hajbrahmanov Timur Salavatovich — vice-leader of a department in the group of companies “SCANEX”. E-mail: haibrahmanov@scanex.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-510-519

УДК 582.26/27:546.3/7Т:556.531(597)

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИБРЕЖНОЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ РЕКИ ШЕРЕПОК

Кьонг Тхе Нго, С.В. Золотокопова

Астраханский государственный технический университет
ул. Татищева 16, Астрахань, Россия, 414056

Изучены особенности накопления цинка, меди, железа, свинца, кадмия, мышьяка в стеблях и корнях тростника обыкновенного и гиацинта водного, произрастающих во Вьетнаме в р. Шерепок. Показано влияние на накопление тяжелых металлов прибрежной водной растительностью степени загрязненности водоема. Дана количественная оценка накопления тяжелых металлов прибрежной водной растительностью в сухой и влажный сезоны. В период исследований было установлено, что в сухой сезон в границах промышленного района в корнях тростника обыкновенного больше, чем в корнях водного гиацинта накапливается цинка, меди, железа и кадмия, эти же металлы накапливаются больше в стеблях водного гиацинта, чем в стеблях тростника. Свинец и мышьяк больше накапливаются в стеблях и корнях водного гиацинта, чем в стеблях и корнях тростника. Во влажный сезон в границах промышленного района цинка, меди, железа и кадмия больше накапливается в стеблях и корнях водного гиацинта, а свинец и мышьяк в стеблях и корнях тростника.

Ключевые слова: тяжелые металлы, прибрежная водная растительность, водный гиацинт, тростник обыкновенный, накопление, промышленная зона, сухой и влажный сезоны

В настоящее время из-за сбросов в водоемы недоочищенных стоков их экологическое состояние ухудшается.

Основные источники загрязнения водоемов — хозяйственно-бытовые, промышленные и сельскохозяйственные стоки. Они содержат большое количество не только органических веществ, но и тяжелых металлов. Особой формой загрязнения является эвтрофирование водоемов, т.е. обогащение их биогенными веществами, что приводит к интенсивному развитию водорослей и прибрежных растений. Это чаще всего происходит за счет поступления в водоемы бытовых и сельскохозяйственных стоков.

Способность водной растительности к накоплению тяжелых металлов делает их активными участниками процесса самоочищения природных вод. Способность высших водных растений накапливать вещества в концентрациях, превышающих фоновые значения, позволила использовать их в системе мониторинга и контроля за состоянием окружающей среды. Высокая поглощательная способность водных растений делает их идеальными тестовыми объектами для определения антропогенных химических нагрузок на водоем. Кроме того, высшим водным растениям свойственна избирательность в накоплении не только макро-, но и микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов [1].

Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что использование способностей водных растений накапливать тяжелые металлы для снижения их концентрации в среде может быть одним из эффективных способов биологической очистки воды. Очевидно, с этой точки зрения наиболее перспективными могут быть макрофиты, которые способны аккумулировать высокие концентрации металлов, интенсивно расти, обладать достаточной устойчивостью к повышенному содержанию металлов [2].

Процессы миграции и аккумуляции веществ лежат в основе процессов, которые раскрывают картину благополучия или неблагополучия определенной территории в геохимическом отношении при природно-антропогенном воздействии. Все указанные факторы формируют качество поверхностных вод и их способность к самоочищению, а также подтверждают необходимость оценки химического состава не только поверхностных вод, но и донных отложений [3].

В настоящее время, сброс сточных вод из двух промышленных районов Хоа-Фу и Там-Тханг в р. Шерепок, ведут к серьезной опасности загрязнения реки. Поэтому, необходимо провести изучение состояния загрязнения р. Шерепок в устье протекания через промышленные районы Хоа-Фу и Там-Тханг.

Цель исследования: изучить накопление тяжелых металлов прибрежной водной растительностью реки Шерепок.

Материалы и методы исследования

Материалом исследований служили стебли и корни водного гиацинта (*Eichhornia crassipes*) и тростника обыкновенного (*Phragmites Australis*), которые широко распространены в водоемах Вьетнама. Пробы отбирались в сухой и влажный сезоны.

Пробы прибрежной водной растительности отбирались в четырех зонах р. Шерепок в 4,8 км выше границы промышленного района Хоа-Фу, районе выращивания кофе (зона 1 — табл. 1), в границах промышленных районов Хоа-Фу и Там Тханг (зона 2), в водохранилище ДрейХлинь, расположенном в 7,5 км ниже границы промышленного района Там Тханг (зона 3) и в водохранилище Шерепок 3. Анализ содержания тяжелых металлов в пробах воды, донных отложений проводили стандартными методами исследования. Содержание тяжелых металлов в гидробионтах определяли атомно-абсорбционным методом.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

Для исследования выбраны прибрежно-водные растения широко распространенные во Вьетнаме: тростник обыкновенный, который относится к водно-воздушной растительности, корневища его плотно прикрепляются ко дну и водный гиацинт — относится к воздушно-водной растительности, листья его плавают на поверхности и корни, собранные в пучок, могут прикрепляться ко дну в сухой сезон и плавать в толще воды во влажный сезон, когда в реке много воды.

В результате исследования содержания тяжелых металлов в стеблях и корнях водного гиацинта (*Eichhornia Crassipes*) получены следующие результаты (табл. 1, 2).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в стеблях и корнях *Eichhornia Crassipes* в сухой сезон, мг/кг

Зона	Zn		Cu		Fe	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	12,82±2,16	27,57±1,42	4,19±0,15	7,81±0,72	198,48±8,16	375,03±16,99
2	93,58±5,86	140,78±2,91	27,33±0,74	58,35±1,65	224,94±5,67	470,88±10,49
3	26,54±2,08	45,37±2,89	9,53±1,00	34,63±0,94	184,65±4,32	444,32±9,55
4	20,38±1,89	38,54±0,92	3,15±0,34	8,92±1,12	202,50±5,39	396,23±11,45
Зона	Cd		Pb		As	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	0,27±0,02	0,61±0,07	6,76±0,97	10,26±0,61	8,21±0,22	13,85±1,01
2	0,26±0,05	0,55±0,04	17,51±0,71	52,46±4,33	7,43±0,44	16,35±2,16
3	0,17±0,02	0,44±0,01	9,22±1,37	31,52±3,67	6,06±0,59	13,37±0,80
4	0,19±0,02	0,38±0,02	8,60±1,06	19,61±1,99	7,24±0,61	9,02±0,56

Table 1

The content of heavy metals in the stems and roots of *Eichhornia Crassipes* during the dry season, mg/kg

	Zn		Cu		Fe	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	12,82±2,16	27,57±1,42	4,19±0,15	7,81±0,72	198,48±8,16	375,03±16,99
Area 2	93,58±5,86	140,78±2,91	27,33±0,74	58,35±1,65	224,94±5,67	470,88±10,49
Area 3	26,54±2,08	45,37±2,89	9,53±1,00	34,63±0,94	184,65±4,32	444,32±9,55
Area 4	20,38±1,89	38,54±0,92	3,15±0,34	8,92±1,12	202,50±5,39	396,23±11,45
	Cd		Pb		As	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	0,27±0,02	0,61±0,07	6,76±0,97	10,26±0,61	8,21±0,22	13,85±1,01
Area 2	0,26±0,05	0,55±0,04	17,51±0,71	52,46±4,33	7,43±0,44	16,35±2,16
Area 3	0,17±0,02	0,44±0,01	9,22±1,37	31,52±3,67	6,06±0,59	13,37±0,80
Area 4	0,19±0,02	0,38±0,02	8,60±1,06	19,61±1,99	7,24±0,61	9,02±0,56

При анализе накопления тяжелых металлов в стеблях и корнях водного гиацинта в сухой сезон видно, что в корнях их в 2—4 раза больше чем в стеблях. Цинка, и меди, и свинца в стеблях и корнях собранных в зоне 2, которая находится в границах промышленного района, в 3—7 раз больше, чем в других исследуемых зонах. А содержание железа, кадмия и мышьяка в стеблях и корнях, собранных во всех четырех зонах, отличается незначительно. Даже накопление мышьяка в стеблях, и кадмия в корнях в пробах отобранных в зоне 1 больше, чем в зоне 2. Это можно объяснить наличием в зоне 1 сельскохозяйственных полей.

Таблица 2

**Содержание тяжелых металлов в стеблях и корнях *Eichhornia Crassipes*
во влажный сезон, мг/кг**

Зона	Zn		Cu		Fe	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	15,27±0,34	34,41±0,91	6,91±0,45	10,51±1,20	286,55±7,78	335,27±9,04
2	120,55±4,44	156,09±2,93	59,36±1,58	78,39±4,36	331,92±3,81	363,03±7,32
3	56,21±3,10	69,25±4,30	10,45±0,84	32,71±1,77	282,85±3,21	360,78±3,91
4	19,46±2,10	37,71±1,75	9,25±0,42	17,39±1,00	318,22±6,32	348,62±2,69
Зона	Cd		Pb		As	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	0,66±0,03	1,25±0,04	6,39±1,01	Зона1	0,66±0,03	1,25±0,04
2	0,22±0,01	0,71±0,02	15,74±0,98	Зона2	0,22±0,01	0,71±0,02
3	0,11±0,02	0,74±0,04	11,65±2,57	Зона3	0,11±0,02	0,74±0,04
4	0,03±0,01	0,15±0,02	7,23±0,34	Зона4	0,03±0,01	0,15±0,02

Table 2

**The content of heavy metals in the stems and roots of *Eichhornia Crassipes*
during the wet season, mg/kg**

	Zn		Cu		Fe	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	15,27±0,34	34,41±0,91	6,91±0,45	10,51±1,20	286,55±7,78	335,27±9,04
Area 2	120,55±4,44	156,09±2,93	59,36±1,58	78,39±4,36	331,92±3,81	363,03±7,32
Area 3	56,21±3,10	69,25±4,30	10,45±0,84	32,71±1,77	282,85±3,21	360,78±3,91
Area 4	19,46±2,10	37,71±1,75	9,25±0,42	17,39±1,00	318,22±6,32	348,62±2,69
	Cd		Pb		As	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	0,66±0,03	1,25±0,04	6,39±1,01	Area 1	0,66±0,03	1,25±0,04
Area 2	0,22±0,01	0,71±0,02	15,74±0,98	Area 2	0,22±0,01	0,71±0,02
Area 3	0,11±0,02	0,74±0,04	11,65±2,57	Area 3	0,11±0,02	0,74±0,04
Area 4	0,03±0,01	0,15±0,02	7,23±0,34	Area 4	0,03±0,01	0,15±0,02

При анализе накопления тяжелых металлов в стеблях и корнях водного гиацинта во влажный сезон видно, что в корнях их в 1,5–3 раза больше чем в стеблях.

При сравнении результатов содержания цинка, меди, железа, кадмия, свинца, мышьяка в стеблях и корнях водного гиацинта, проводимых в сухой и во влажный сезон, было установлено, что в сухой сезон в стеблях и корнях водного гиацинта накапливается меньше цинка и меди, чем во влажный сезон. Это можно объяснить тем, что цинк и медь аккумулируются растением не только корнями из донных отложений, но и из воды плавающими листьями. В границах промышленного района (зона 2) во влажный сезон в стебле водного гиацинта в 1,5 раза больше цинка и 2 раза больше меди, чем в сухой сезон. Железа в стеблях в сухой сезон накоплено меньше, а корнях накоплено больше, чем во влажный сезон во всех

зонах отбора проб. В стебле и корнях водного гиацинта свинца и мышьяка в границах промышленной зоны больше в сухой сезон. Кадмия в сухой сезон в стебле больше, чем во влажный сезон, а в корнях меньше. То есть сезон влияет на накопление тяжелых металлов водного гиацинта, в сухой сезон больше аккумулируется тяжелых металлов из донных отложений, а во влажный сезон плавающие листья и корни, аккумулируют тяжелые металлы из воды.

При изучении накопления тяжелых металлов тростником обыкновенным (*Phragmites Australis*) были получены следующие результаты (табл. 3, 4).

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в стеблях и корнях *Phragmites Australis* в сухой сезон, мг/кг

Зона	Zn		Cu		Fe	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	14,45±0,59	20,36±0,69	4,77±0,30	8,58±0,85	179,14±4,48	459,21±8,87
2	49,92±1,34	173,02±7,82	11,38±0,08	64,53±2,14	206,51±5,68	496,12±8,51
3	25,53±2,05	84,36±2,96	8,63±0,29	23,55±2,90	212,26±7,70	345,29±6,81
4	24,41±1,12	33,32±1,68	5,39±0,40	16,49±0,70	194,91±4,24	417,19±12,25
Зона	Cd		Pb		As	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	0,24±0,02	0,65±0,03	5,54±0,46	Зона1	0,24±0,02	0,65±0,03
2	0,23±0,02	0,57±0,04	12,79±0,85	Зона2	0,23±0,02	0,57±0,04
3	0,18±0,01	0,51±0,02	10,06±1,14	Зона3	0,18±0,01	0,51±0,02
4	0,13±0,01	0,35±0,02	7,64±0,26	Зона4	0,13±0,01	0,35±0,02

Table 3

The content of heavy metals in the stems and roots of *Phragmites Australis* during the dry season, mg/kg

	Zn		Cu		Fe	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	14,45±0,59	20,36±0,69	4,77±0,30	8,58±0,85	179,14±4,48	459,21±8,87
Area 2	49,92±1,34	173,02±7,82	11,38±0,08	64,53±2,14	206,51±5,68	496,12±8,51
Area 3	25,53±2,05	84,36±2,96	8,63±0,29	23,55±2,90	212,26±7,70	345,29±6,81
Area 4	24,41±1,12	33,32±1,68	5,39±0,40	16,49±0,70	194,91±4,24	417,19±12,25
	Cd		Pb		As	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	0,24±0,02	0,65±0,03	5,54±0,46	Area 1	0,24±0,02	0,65±0,03
Area 2	0,23±0,02	0,57±0,04	12,79±0,85	Area 2	0,23±0,02	0,57±0,04
Area 3	0,18±0,01	0,51±0,02	10,06±1,14	Area 3	0,18±0,01	0,51±0,02
Area 4	0,13±0,01	0,35±0,02	7,64±0,26	Area 4	0,13±0,01	0,35±0,02

При анализе накопления тяжелых металлов в стеблях и корнях тростника обыкновенного в сухой сезон видно, что в корнях тяжелых металлов в 2—6 раза больше чем в стеблях. Цинка, меди и свинца в стеблях, отобранных в зоне 2, которая находится в границах промышленного района, в 2—3 раза больше, а в корнях в 5—7 раз больше, чем в других исследуемых зонах. А содержание железа, кадмия и мышьяка в стеблях и корнях в различных зонах незначительно отличается. Содержание мышьяка и кадмия в корнях отобранных в зоне 1 больше, чем в зоне 2,

а в зоне 4 их количество снижается в 2 раза, что свидетельствует об активной роли растений в самоочищении водоемов, т.е. по содержанию тяжелых металлов корнях в тростника обыкновенного можно судить о наличии в сбросах тяжелых металлов.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в стеблях и корнях *Phragmites Australis* во влажный сезон, мг/кг

Зона	Zn		Cu		Fe	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	12,82±2,16	27,57±1,42	4,19±0,15	7,81±0,72	198,48±8,16	375,03±16,99
2	51,58±5,86	140,78±2,91	10,33±0,74	58,35±1,65	224,94±5,67	470,88±10,49
3	26,54±2,08	45,37±2,89	9,53±1,00	34,63±0,94	184,65±4,32	444,32±9,55
4	20,38±1,89	38,54±0,92	3,15±0,34	8,92±1,12	202,50±5,39	396,23±11,45
Зона	Cd				Pb	
	Стебель	Корень	Стебель	Корень	Стебель	Корень
1	0,27±0,02	0,61±0,07	6,76±0,97	10,26±0,61	0,27±0,02	0,61±0,07
2	0,26±0,05	0,55±0,04	17,51±0,71	52,46±4,33	0,26±0,05	0,55±0,04
3	0,17±0,02	0,44±0,01	9,22±1,37	31,52±3,67	0,17±0,02	0,44±0,01
4	0,19±0,02	0,38±0,02	8,60±1,06	19,61±1,99	0,19±0,02	0,38±0,02

Table 4

The content of heavy metals in the stems and roots of *Phragmites Australis* during the wet season, mg/kg

	Zn		Cu		Fe	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	12,82±2,16	27,57±1,42	4,19±0,15	7,81±0,72	198,48±8,16	375,03±16,99
Area 2	51,58±5,86	140,78±2,91	10,33±0,74	58,35±1,65	224,94±5,67	470,88±10,49
Area 3	26,54±2,08	45,37±2,89	9,53±1,00	34,63±0,94	184,65±4,32	444,32±9,55
Area 4	20,38±1,89	38,54±0,92	3,15±0,34	8,92±1,12	202,50±5,39	396,23±11,45
	Cd				Pb	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Area 1	0,27±0,02	0,61±0,07	6,76±0,97	10,26±0,61	0,27±0,02	0,61±0,07
Area 2	0,26±0,05	0,55±0,04	17,51±0,71	52,46±4,33	0,26±0,05	0,55±0,04
Area 3	0,17±0,02	0,44±0,01	9,22±1,37	31,52±3,67	0,17±0,02	0,44±0,01
Area 4	0,19±0,02	0,38±0,02	8,60±1,06	19,61±1,99	0,19±0,02	0,38±0,02

При сравнении результатов исследования накопления цинка, меди, железа, кадмия, свинца, мышьяка в стеблях и корнях тростника обыкновенного в сухой и влажный сезон было установлено, что в сухой сезон тростник произрастающий в загрязненных зонах (2 и 3) цинка накапливает в стеблях больше, а в корнях меньше, чем во влажный сезон, но тростник, произрастающий в наименее загрязненных зонах (1 и 4), в корнях накапливает его больше, а стеблях меньше.

Также в период исследований было установлено, что в сухой сезон в границах промышленного района (зоне 2) в корнях тростника больше, чем в корнях эйхорнии накапливается цинка, меди, железа и кадмия, эти же металлы накапливаются больше в стеблях водного гиацинта, чем в стеблях тростника. Свинец и мышьяк больше накапливаются в стеблях и корнях водного гиацинта.

Во влажный сезон в границах промышленного района (зона 2) цинка, меди, железа и кадмия больше накапливается в стеблях и корнях эйхорнии, а свинец и мышьяк в стеблях и корнях тростника.

Если сравнивать накопление тяжелых металлов прибрежной водной растительностью в различных по загрязненности зонах, то можно наблюдать что в загрязненных зонах и в корнях, и в стеблях накапливается больше тяжелых металлов, чем в менее загрязненных. Данные по количеству тяжелых металлов в стеблях и корнях коррелируют с количеством тяжелых металлов в речной воде и донных отложениях (табл. 5, 6).

Таблица 5

Коэффициенты корреляции тяжелых металлов в стеблях и корнях тростника на исследуемых участках
[Coefficients of correlation of heavy metals in reed stems and roots in the investigated areas]

Металл / Metal	Орган / Part of the plant	Fe		Cu		Zn		As		Cd		Pb	
		Стебель / Stem	Корни / Root										
Fe	Стебель / Stem	1											
	Корни / Root	0,467*	1										
Cu	Стебель / Stem	-0,068	-0,006	1									
	Корни / Root	0,131	0,468*	0,565*	1								
Zn	Стебель / Stem	0,040	0,268*	0,568*	0,663*	1							
	Корни / Root	0,144	0,375*	0,414*	0,854*	0,738*	1						
As	Стебель / Stem	-0,311*	-0,139	0,063	-0,031	-0,079	-0,060	1					
	Корни / Root	0,064	0,277*	-0,058	0,033	-0,179	-0,090	0,480*	1				
Cd	Стебель / Stem	0,166	0,372*	-0,253	0,162	-0,223	0,145	0,256	0,275*	1			
	Корни / Root	0,052	0,125	-0,191	0,075	-0,152	0,009	0,233	0,344*	0,602*	1		
Pb	Стебель / Stem	0,091	0,343*	0,488*	0,665*	0,715*	0,650*	-0,095	-0,093	-0,137	-0,096	1	
	Корни / Root	0,197	0,546*	0,427*	0,874*	0,673*	0,822*	-0,129	-0,063	0,159	0,011	0,829*	1

* Статистически значимая взаимосвязь ($p < 0,05$).

У корня и стебля тростника самая тесная корреляционная связь отмечалась между содержанием Pb в стеблях и корнях тростника и содержанием Fe в корнях, Cu — в стебле и корнях, Zn — в стебле и корнях. Еще некоторые корреляционные связи: Pb — корень и стебель; Fe — стебель и корень; Cu — корень и Fe — корень;

Cu — корень и стебель; Zn — стебель и Fe — корень; Zn — стебель и Cu — стебель; Zn — стебель и Cu — корень; Zn — корень и Fe — корень; Zn — корень и Cu — стебель; Zn — корень и Cu — корень; As — стебель и Fe — стебель; As — корень и Fe — корень; As — корень и стебель; Cd — стебель и As — корень; Cd — корень и As — корень; Cd — стебель и корень.

Таблица 6

**Коэффициенты корреляции тяжелых металлов в стеблях и корнях водного гиацинта
на исследуемых участках**
**[Coefficients of correlation of heavy metals in water hyacinth stems and roots
in the investigated areas]**

Металл / Metal	Орган / Part of the plant	Fe		Cu		Zn		As		Cd		Pb	
		Стебель / Stem	Корни / Root										
Fe	Стебель / Stem	1											
	Корни / Root	0,362*	1										
Cu	Стебель / Stem	0,180	0,148	1									
	Корни / Root	0,189	0,306*	0,683*	1								
Zn	Стебель / Stem	0,215	0,244*	0,614*	0,676*	1							
	Корни / Root	0,195	0,295*	0,588*	0,805*	0,883*	1						
As	Стебель / Stem	0,034	0,067	-0,028	-0,013	-0,019	-0,045	1					
	Корни / Root	0,070	0,032	0,001	-0,048	-0,064	-0,082	0,808*	1				
Cd	Стебель / Stem	0,021	-0,033	0,013	-0,098	-0,068	-0,029	0,450*	0,341*	1			
	Корни / Root	-0,153	-0,022	0,106	0,039	-0,070	-0,094	0,370*	0,382*	0,584*	1		
Pb	Стебель / Stem	0,138	0,303*	0,394*	0,591*	0,716*	0,745*	0,146	0,067	-0,022	-0,071	1	
	Корни / Root	0,102	0,230*	0,563*	0,673*	0,798*	0,849*	0,173	0,075	0,029	-0,101	0,851*	1

* Статистически значимая взаимосвязь ($p < 0,05$).

У корня и стебля водного гиацинта самая тесная корреляционная связь отмечалась между содержанием Pb в стеблях и корнях водного гиацинта и содержанием Zn — в стебле и корнях, Cu в корнях. Еще некоторые корреляционные связи: Pb — корень и стебель; Cu — корень и стебель; Zn — стебель и Fe — корень; Zn — стебель и Cu — стебель; Zn — стебель и Cu — корень; Zn — корень и Cu — стебель; Zn — корень и Cu — корень; As — корень и стебель; Cd — стебель и As — корень; Cd — корень и As — корень; Cd — стебель и корень.

Вывод. В результате проведенных исследований можно сделать вывод что в корнях прибрежной водной растительности в корнях накапливается больше тяжелых металлов, чем в стеблях. Во влажный сезон в прибрежной водной растительности накапливается больше тяжелых металлов, чем в сухой. И по накоплению тяжелых металлов прибрежной растительностью, можно судить о степени загрязнения водоема тяжелыми металлами.

У корня и стебля тростника самая тесная корреляционная связь отмечалась между содержанием Pb в стеблях и корнях тростника и содержанием Fe в корнях, Cu — в стебле и корнях, Zn — в стебле и корнях. У корня и стебля тростника самая тесная корреляционная связь отмечалась между содержанием Pb в стеблях и корнях тростника и содержанием Fe в корнях, Cu — в стебле и корнях, Zn — в стебле и корнях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Садчиков А.П., Кудряшов М.А.* Экология прибрежно-водной растительности: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Изд-во НИИ-Природа; РЭФИА, 2004. 220 с.
- [2] *Шашуловская Е.А.* О накоплении тяжелых металлов в высшей водной растительности Волгоградского водохранилища // Поволжский экологический журнал. 2009. № 4. С. 357—360.
- [3] *Степанова Л.П.* Химический состав поверхностных вод бассейна реки Ока на территории Орловской области / Л.П. Степанова, Е.В. Яковлева, Е.С. Черный, А.В. Писарева // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 4. С. 93—97. URL: <http://journals.rudn.ru/ecology/article/view/12876/12306> (дата обращения: 06.09.2017).

© Золотокопова С.В., Нго К.Т., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 08.09.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Кыонг Тхе Нго, Золотокопова С.В. Накопление тяжелых металлов прибрежной водной растительностью реки Шерепок // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 4. С. 510—519. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-510-519

Сведения об авторах:

Кыонг Тхе Нго — аспирант Астраханского государственного технического университета. E-mail: ngothecuong87@gmail.com

Золотокопова Светлана Васильевна — профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии Астраханского государственного технического университета. E-mail: zolotokopova@mail.ru

ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY COASTAL AQUATIC VEGETATION OF THE SHEREPOK RIVER

Ngo The Cuong, Svetlana Vasil'evna Zolotokopova

The Astrakhan State Technical University
Tatishchev str., 16, Astrakhan, Russia, 414056

Characteristics of the accumulation of zinc, copper, iron, lead, cadmium, arsenic in the stems and roots of *Phragmites Australis* and *Eichhornia crassipes*, growing in the Sherepok river (Vietnam), were investigated. The effect of level of river pollution on the heavy metal accumulation of the coastal aquatic vegetation was shown. A quantitative assessment of the accumulation of heavy metals by coastal aquatic vegetation in the dry and wet seasons is given. During the period of research, it was found that in the dry season, within the industrial region, zinc, copper, iron and cadmium were accumulated in the roots of common reed greater than in the roots of *Eichhornia crassipes*. The same metals were accumulated in the stems of *Eichhornia crassipes* higher than in the stems of *Phragmites Australis*. Lead and arsenic were accumulated in the stems and roots of the *Eichhornia crassipes* higher than in the stems and roots of *Phragmites Australis*. During the wet season, within the industrial region, zinc, copper, iron and cadmium were more accumulated in the stems and roots of *Eichhornia crassipes*, while lead and arsenic — in the stems and roots of *Phragmites Australis*.

Key words: heavy metals, coastal aquatic vegetation, *Eichhornia crassipes*, common reed, accumulation, industrial zone, dry and wet season

REFERENCES

- [1] Sadchikov A.P., Kudryashov M.A. Ecology of coastal-aquatic vegetation (textbook for university students). Moscow: Publishing house NIA-Nature, REFIA, 2004. P. 220.
- [2] Shashulovskaya E.A. About the accumulation of heavy metals in the higher aquatic vegetation of the Volgograd Reservoir. *Volga Ecological Journal*. 2009. No. 4. P. 357–360.
- [3] Stepanova L.P. and other. Chemical composition of surface waters of the Oka river basin in the Orel region. L.P. Stepanova, E.V. Yakovleva, E.S. Chernyj, A.V. Pisarev. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2015. No. 4. P. 93–97. URL: <http://journals.rudn.ru/ecology/article/view/12876/12306> (date of access: 06.09.2017).

Article history:

Received: 08.09.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Ngo The Cuong, Zolotokopova S.V. (2017) Accumulation of heavy metals by coastal aquatic vegetation of the Sherepok River. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 510–519. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-510-519

Bio Note:

Kyong Th Ngo — a graduate student, Astrakhan State Technical University. E-mail: ngothecuong87@gmail.com

Zolotokopova Svetlana Vasilievna — Professor of the Department of Life Safety and Engineering Ecology, Astrakhan State Technical University. E-mail: zolotokopova@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-520-528

УДК 574:004.9:622

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ВОЗДУХЕ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

Д.Н. Радченко¹, Л.А. Гаджиева^{1,2}, В.В. Гавриленко¹

¹ Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

Крюковский тупик, 4, Москва, Россия, 111020

² Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Разработана методика мониторинга и проведены исследования по определению содержания твердых частиц крупностью 1—10 нм в воздухе горнопромышленного региона. Дана сравнительная оценка загрязнения воздуха наночастицами в регионе КМА, Москве и Московской области.

Ключевые слова: мониторинг, методика, горнопромышленный регион, геотехнология, добыча полезных ископаемых, наночастицы, количество, среда обитания человека

Современные исследования показывают, что в условиях стремительного развития нанотехнологий наноструктурные материалы являются не только основным прорывом в области высоких технологий, но и одной из причин загрязнения окружающей среды [1]. Известно, что природные выбросы аэрозолей, например, в результате вулканической деятельности и лесных пожаров всегда влияли на среду обитания человека. Однако уравниваясь общим круговоротом веществ в природе, они не вызвали глубоких экологических изменений. Значительно больший вред окружающей среде наносят промышленные аэрозоли, образующиеся в результате человеческой деятельности.

Согласно классификации, выдвинутой автором работы [2], к наночастицам относятся ультрадисперсные аэрозоли, размер которых находится в диапазоне 0,001—0,01 мкм.

В настоящее время в России отсутствует стандарт, устанавливающий предельно допустимые концентрации таких наноаэрозолей в воздушной среде. Однако в связи с увеличивающимся вниманием мировой научной общественности к возможным рискам для здоровья, возникающим при воздействии аэрозолей с частицами, размеры которых лежат в нанодиапазоне, в 2012 году был разработан ГОСТ Р 54597—2011, целью его стало предоставление пользователям необходимой исходной информации о наноаэрозолях до того, как будут разработаны и внедрены предельно допустимые уровни воздействия и эталоны [3].

До настоящего времени в нашей стране отсутствуют современные методические руководства и стандарты, применимые для оценки и снижения рисков для

здоровья населения в горнодобывающих и других промышленных регионах. Основная характеристика аэрозолей на данный момент — массовая концентрация частиц, связанная с характерным фракционным составом, соответствующим различным областям осаждения в респираторной системе. Причем, многие токсикологические исследования свидетельствуют, что некоторые ультрамелкие вдыхаемые нерастворимые частицы могут быть более токсичными, чем более крупные аналогичного состава [4—12]. Это дает основание полагать, что воздействие, связанное с вдыханием мелких твердых частиц, образующихся в результате деятельности промышленных предприятий, будет токсичным, в отличие от вдыхания крупных растворимых частиц, например, аэрозолей на берегу моря.

Таким образом, доля нерастворимых наночастиц, осажденных при вдыхании в альвеолярной и трахеобронхиальной областях дыхательных путей человека, больше по сравнению с вдыхаемыми частицами большего диаметра [3]. После осаждения наночастицы также могут оставаться в легких дольше, чем более крупные частицы, из-за сложности самоочищения организма от них и более сильного взаимодействия с тканями и органами. Например, результаты исследований легких у мелких грызунов показали уменьшение способности в фагоцитозе (поглощении) и очистке от наночастиц макрофагами по сравнению с тонкодисперсными частицами той же самой массы [13]. Исследованиями показано, что некоторые типы наночастиц (например, диоксида титана, углерода) легче проникают через барьерный слой эпителиальной клетки и входят в интерстициальную ткань легких или кровотока. Попав в кровь, наночастицы могут перемещаться с ней и оседать в других органах. Результаты исследований организма человека показали быстрое перемещение наночастиц по большому кругу кровообращения [3].

В последние годы появились методики оценки нового показателя, характеризующего степень воздействия наночастиц на организм человека. (Lung-deposited surface area LDSA). Так, при оценке влияния деятельности международного аэропорта Лос-Анжелеса на качество воздуха, наряду с определением размера и концентрации наночастиц, авторы работы [14] установили закономерности изменения показателя, определяющего площадь осаждения наноаэрозолей в легких (LDSA) по мере удаления от аэропорта.

Ввиду важности определения наночастиц в воздухе, в ряде зарубежных стран проводятся мероприятия по мониторингу концентрации ультрадисперсных аэрозолей. Исследования [15], показали связь концентрации нанодисперсных частиц с плотностью размещения ресторанов быстрого питания в городе. Было установлено, что концентрации возле ресторанов были в 1,61 раза выше, чем на контрольном участке без таких источников, и в 1,22 раза выше по сравнению со всеми измерениями, проводимыми между ресторанами.

Одной из главных причин образования наноразмерных частиц является деятельность горнопромышленного производства [2]. Было установлено, что частицы, крупностью, находящейся в нанодиапозоне, образуются в составе общей массы пылевых выбросов данного производства [16].

Авторами работ [16; 17] определены основные источники техногенной пыли и наночастиц при освоении земных недр, к которым относятся: стволы шахт и

рудников, штольни и другие вентиляционные выработки подземных горных предприятий, карьеры, обогатительные и агломерационные фабрики, сортировочные и погрузочные пункты, породные и рудные отвалы, хвостохранилища, угольные и рудные склады, а также в процессе перевозки больших масс раздробленной горной и рудной массы до мест их складирования, использования или первичной переработки.

Ввиду отсутствия достоверных данных о предельно допустимой концентрации наночастиц в атмосфере горнопромышленных регионов и прилегающих зонах урбанизации, основные показатели, характеризующие степень загрязнения воздуха наноаэрозолями, могут быть выявлены путем сопоставимой оценки. Для этого разработана методика содержания ультрадисперсных аэрозолей в районах интенсивной разработки месторождений полезных ископаемых. При выборе объектов исследований было принято во внимание:

— наличие горно-перерабатывающего производства, функционирующего в регионе не менее 50 лет. Причем, недра в регионе осваиваются как открытым, так и подземным способами. Объем добычи руд составляет не менее 1 млн т/г. Добываемые руды перерабатываются на обогатительной фабрике, также расположенной в исследуемом регионе;

— наличие вблизи производства зоны урбанизации с населением не менее 10 тыс. человек;

— за «эталонные» регионы для сравнительной оценки выбраны урбанизированные территории, характеризующиеся отсутствием горнопромышленных предприятий описанного масштаба — г. Москва и г. Долгопрудный Московской области.

Методикой предусмотрено для проведения исследований использование оборудования Лаборатории экологически сбалансированного освоения недр ИПКОН РАН [18]:

1) миниатюрный диффузионный классификатор DISCmini, предназначенный для измерения количества и среднего размера наночастиц в воздухе, а также определения площади поверхности, занимаемой осажденными наночастицами в альвеолярной области дыхательных путей (рис. 1). Принцип действия прибора заключается в измерении значения токов в процессе отбора заряженных частиц на двух отдельных этапах: ступени диффузии (iD) и стадии фильтрации (iF). На базе преобразования этих значений определяется размер частиц (который пропорционален отношению iF/iD) и числовая концентрация (которая пропорциональна $iF + iD$);

2) анемометр цифровой АТТ-1033 — для измерения скорости воздушного потока;

3) прибор экологического контроля ДТ-9881М, которым измеряются температура и влажность окружающей среды и концентрация пылевых частиц в диапазоне 0,3—10 мкм.

Последние два прибора использованы для оценки корреляции данных о содержании наночастиц с характеристиками окружающей среды.

Согласно разработанной методике, проведение измерений выполнено в пяти условных точках (рис. 2). Точка № 1 расположена на расстоянии 150 м в юго-за-

падном направлении от скипового ствола шахты. Согласно исследованиям [16] подземные рудники служат источниками наночастиц, образующихся в ходе таких геотехнологических процессов, как бурение, отбойка, доставка, выпуск и транспортировка руд и пород.



Рис. 1. Переносной диффузионный классификатор DISCmini
Лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН
[**Fig. 1.** Portable diffusion classifier DISCmini
Laboratories ECON IPCON RAS]

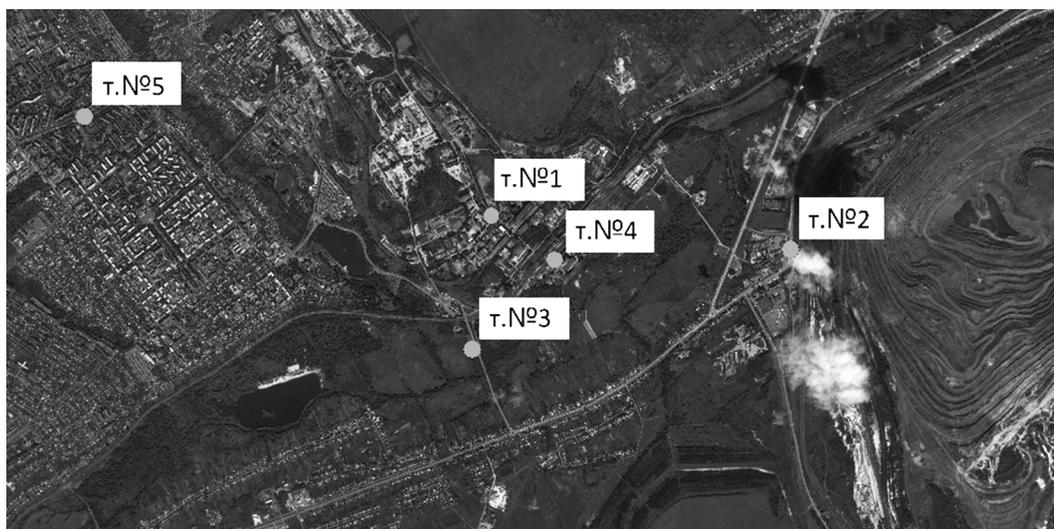


Рис. 2. Карта района проведения измерений
[**Fig. 2.** Map of the measuring area]

Оценка образования ультра дисперсных аэрозолей в ходе открытого способа разработки месторождения проведена в точке № 2 в 500 м к западу от внешней границы карьера.

Для выявления закономерностей распределения наночастиц по мере удаления от источника, проведены измерения на расстоянии 2 и 2,5 км от борта карьера по направлению к городу (точки № 3 и № 4).

Анализ возможного негативного влияния ультрадисперсных частиц на организм человека в прилегающей урбанизированной зоне выполнен путем измерения в центре города, где расположена точка № 5.

Для проведения исследований выбран теплый период 2017 года, характеризующийся стабильными условиями окружающей среды: температура 17—26 °С, средняя скорость ветра — не более 4 м/с, относительная влажность — до 80%.

Установлено, что наибольшая средняя концентрация наночастиц в воздухе составляет 27590,51 см⁻³ на промплощадке подземного рудника (т. № 1, рис. 2) и территории между ней и карьером (таблица). Наименьшая концентрация установлена на территории промышленного города, которая составляет 15622,35 см⁻³. Соответственно распределяются показатели LDSA — максимальный в точке № 1, минимальный в точке № 5.

Таблица

Сравнительная оценка результатов мониторинга содержания ультрадисперсных аэрозолей в воздухе горнодобывающего и Московского регионов

Показатель, ед. измерения	Исследуемые регионы						
	Зона промышленной урбанизации					г. Москва	г. Долгопрудный
	Точки отбора						
	1	2	3	4	5	Средняя по городу	Средняя по городу
Средняя концентрация наночастиц, см ⁻³	27590,51	21201,79	24738,44	20439,71	15622,35	11993,13	12465,9
LDSA	62,38	48,991	50,037	49,58	44,801	30,3645	24,8055
Средняя концентрация пылевых частиц $d = 0,3$ мкм, мкг/м ³	83668,68	103182,8	82763,43	294944,1	87494,79	27491,285	17497,45

Table

Comparative evaluation of the results of monitoring the content of ultradisperse aerosols in the air of the mining and the Moscow regions

Indicator, units of measure	Investigated regions						
	Industrial urbanization area					Moscow	Dolgo-prudnyy
	Sampling points						
	1	2	3	4	5	Urban average	Urban average
Average concentration of nanoparticles, cm ⁻³	27590,51	21201,79	24738,44	20439,71	15622,35	11993,13	12465,9
LDSA	62,38	48,991	50,037	49,58	44,801	30,3645	24,8055
Average concentration of dust particles $d = 0,3$ micrometers, microgram/m ³	83668,68	103182,8	82763,43	294944,1	87494,79	27491,285	17497,45

По результатам измерений средняя концентрация ультрадисперсных частиц в Москве составила 11 993,13, что в 1,3 раза меньше, чем в городе, расположенном в горнопромышленном регионе и в 2,3 раза меньше, чем на промплощадке рудника. В Московской области средняя концентрация таких частиц в 1,25 раз меньше, чем в промышленном городе, в 2,2 меньше, чем в зоне непосредственного функционирования горного предприятия.

Полученные результаты мониторинга позволяют однозначно судить о негативном влиянии горнопромышленных регионов на состояние окружающей среды в части поступления ультрадисперсных аэрозолей в воздух. Вместе с тем, ареал распространения наночастиц носит локальный характер с формированием зон повышенных концентраций непосредственно в зонах ведения горных работ. В настоящее время проводятся аналогичные исследования в других горнопромышленных центрах России — на Южном Урале, Кузбассе.

Целью проводимого мониторинга является не просто констатация факта загрязнения окружающей среды. Деятельность лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН [18] направлена на разработку инновационных технологий экологически сбалансированного освоения рудных месторождений. В ходе таких исследований создаются геотехнологии, позволяющие вывести человека из зон ведения горных работ, характеризующихся потенциальной промышленной и экологической опасностью. Это достигается роботизацией технологических процессов с одновременным сокращением операционных функций человека в технологических процессах горного производства. При этом повышаются интеллектуальные функции персонала, выполняемые в комфортных и благоприятных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Gwinn M.R., Vallyathan V.* Nanoparticles: Health effects — Pros and cons // *Environmental Health Perspectives*. 2006. 114(12). Pp. 1818—1825.
- [2] *Хмелев В.Н.* Ультразвуковая коагуляция аэрозолей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 235 с.
- [3] ГОСТ Р 54597—2011 Воздух рабочей зоны. Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц и наноструктурированных частиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2012. 40 с.
- [4] *Gelein G., Ferin R.M., Weiss J. and B.* Association of particulate air pollution and acute mortality: involvement of ultrafine particles? *Inhal. Toxicol.* 1995. No. 7. Pp. 111—124.
- [5] *G.* Toxicology of ultrafine particles: in vivo studies // *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. Series A* 358, 1775, 2000. Pp. 2719—2740.
- [6] *Donaldson K., Li X.Y. and MacNee W.* Ultrafine (nanometer) particle mediated lung injury // *Journal of Aerosol Science*. 1998; 29 (5-6). Pp. 553—560.
- [7] *Donaldson K., Stone V., Gilmore P.S., Brown D.M. and MacNee W.* Ultrafine particles: mechanisms of lung injury. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., Series A* 358, 2000. Pp. 2741—2749.
- [8] *Brown D.M., Wilson M.R., MacNee W., Stone V. and Donaldson K.* Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2001; 175 (3). Pp. 191—199.
- [9] *Tran C.L., Buchanan D., Cullen R.T., Searl A., Jones A.D. and Donaldson K.* Inhalation of poorly soluble particles. II. Influence of particle surface area on inflammation and clearance. *Inhal. Toxicol.* 2000; 12 (12). Pp. 1113—1126.
- [10] *Dick C.A.J., Brown D.M., Donaldson K. and Stone V.* The role of free radicals in the toxic and inflammatory effects of four different ultrafine particle types. *Inhal. Toxicol.* 2003; 15 (1). Pp. 39—52.
- [11] *MacNee W. and Donaldson K.* Mechanism of lung injury caused by PM10 and ultrafine particles with special reference to COPD. *Eur. Resp. J.*, 21, 2003. Pp. 47S—51S.

- [12] *Renwick L.C., Donaldson K. and Clouter A.* Impairment of alveolar macrophage phagocytosis by ultrafine particles. *Toxicology and Applied Pharmacology.* 2001; 172 (2). Pp. 119—127.
- [13] *Renwick L.C., Brown D., Clouter A. and Donaldson K.* Increased inflammation and altered macrophage chemotactic responses caused by two ultrafine particles. *Occup. Environ. Med.*, 61. 2004. Pp. 442—447.
- [14] *Hudda N., Fruin S.A.* International Airport Impacts to Air Quality: Size and Related Properties of Large Increases in Ultrafine Particle Number Concentrations // *Environ. Sci. Technol.* 2016. No. 50. P. 3362—3370. DOI: 10.1021/acs.est.5b05313.
- [15] *Vert C., Meliefste K., Hoek G.* Outdoor ultrafine particle concentrations in front of fast food restaurants // *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology.* 2016. No. 26. P. 35—41. DOI: 10.1038/jes.2015.64.
- [16] *Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Викторова С.Д., Бунин И.Ж.* Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. М.: Изд-во Института проблем комплексного освоения недр РАН, 2006. 216 с.
- [17] *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.* Геоэкология освоения недр и экогеотехнологии разработки месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2015. 360 с.
- [18] *Рыльникова М.В., Радченко Д.Н.* Создание в России научного центра по изучению экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых // *Горный журнал.* 2014. № 12. С. 4—7.

© Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А., Гавриленко В.В., 2017

Финансирование:

Исследования выполняются при поддержке РНФ (грант №14-37-00050).

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 09.10.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А., Гавриленко В.В. Мониторинг содержания ультрадисперсных аэрозолей в воздухе горнопромышленного региона // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 4. С. 520—528. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-520-528

Сведения об авторах:

Радченко Дмитрий Николаевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИПКОН РАН, доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. E-mail: mining_expert@mail.com

Гаджиева Луиза Абду-Самадовна — студентка департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов, лаборант ИПКОН РАН. E-mail: gadzhilu@gmail.com

Гавриленко Вячеслав Витальевич — научный сотрудник ИПКОН РАН. E-mail: sla-77@yandex.ru

MONITORING OF THE CONTENT OF ULTRADISPERSED AEROSOLS IN THE AIR OF THE MINING INDUSTRIAL REGION

D.N. Radchenko¹, L.A. Gadzhieva^{1,2}, V.V. Gavrilenko¹

¹ Institute of Complex Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences
Kryukovskiyupik, 4, Moscow, Russia, 111020

² Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

A methodology for monitoring the determination of the content of solid particles with a particle size of 1–10 nm in the air of the mining region has been developed. Appropriate studies have been carried out. The air pollution by nanoparticles in the KMA and the Moscow regions is estimated.

Key words: monitoring, methodology, mining industrial region, geotechnology, mining, nanoparticles, quantity, human habitat

REFERENCES

- [1] Gwinn M.R., Vallyathan V. Nanoparticles: Health effects — Pros and cons. *Environmental Health Perspectives*. 2006; 114(12). Pp. 1818–1825.
- [2] Hmelev V.N. *Ultrazvukivayakoagulyatsiyaaerozoley: monografiya*. V.N. Hmelev, A.V. Shalunov, K.V. Shalunova, S.N. Tsyganok, R.V. Barsukov, A.N. Slivin. Alt. gos. texn. un-t, BTI. Biysk: Izd-vo Alt. gos. texn. un-ta, 2010. P. 235.
- [3] GOST R 54597—2011 *Vozduh rabochey zony. Ultradispersniye aerzoli, aerosoli nanochastic i nanostrukturnykh chastits. Opredelenie kharakteristik I ochenka vozdeystviya pri vdykhanii*. M., 2012. P. 40.
- [4] Gelein G., Ferin R.M., Weiss J. and B. Association of particulate air pollution and acute mortality: involvement of ultrafine particles? *Inhal. Toxicol.* 1995. No. 7. Pp. 111–124.
- [5] G. Toxicology of ultrafine particles: in vivo studies. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. Series A 358*, 1775. 2000. Pp. 2719–2740.
- [6] Donaldson K., Li X.Y. and MacNee W. Ultrafine (nanometer) particle mediated lung injury. *Journal of Aerosol Science*. 1998; 29 (5-6). Pp. 553–560.
- [7] Donaldson K., Stone V., Gilmore P.S., Brown D.M. and MacNee W. Ultrafine particles: mechanisms of lung injury. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., Series A 358*, 2000. Pp. 2741–2749.
- [8] Brown D.M., Wilson M.R., MacNee W., Stone V. and Donaldson K. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2001; 175 (3). Pp. 191–199.
- [9] Tran C.L., Buchanan D., Cullen R.T., Searl A., Jones A.D. and Donaldson K. Inhalation of poorly soluble particles. II. Influence of particle surface area on inflammation and clearance. *Inhal. Toxicol.* 2000; 12 (12). Pp. 1113–1126.
- [10] Dick C.A.J., Brown D.M., Donaldson K. and Stone V. The role of free radicals in the toxic and inflammatory effects of four different ultrafine particle types. *Inhal. Toxicol.* 2003; 15 (1). Pp. 39–52.
- [11] MacNee W. and Donaldson K. Mechanism of lung injury caused by PM10 and ultrafine particles with special reference to COPD. *Eur. Resp. J.*, 21, 2003. Pp. 47S–51S.
- [12] Renwick L.C., Donaldson K. and Clouter A. Impairment of alveolar macrophage phagocytosis by ultrafine particles. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2001; 172 (2). Pp. 119–127.
- [13] Renwick L.C., Brown D., Clouter A. and Donaldson K. Increased inflammation and altered macrophage chemotactic responses caused by two ultrafine particles. *Occup. Environ. Med.*, 61, 2004. Pp. 442–447.

- [14] Hudda N., Fruin S.A. International Airport Impacts to Air Quality: Size and Related Properties of Large Increases in Ultrafine Particle Number Concentrations// *Environ. Sci. Technol.* 2016. No. 50. P. 3362—3370. DOI: 10.1021/acs.est.5b05313.
- [15] Vert C., Meliefste K., Hoek G. Outdoor ultrafine particle concentrations in front of fast food restaurants. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology.* 2016. No. 26. P. 35—41. DOI: 10.1038/jes.2015.64.
- [16] Chanturiya V.A., Trubetskoy K.N., Viktorov S.D., Bunin I.Zn. Nanoparticles in geological materials destruction and extraction processes. М., 2006. 216 p.
- [17] Trubetskoy K.N., Galchenko Yu. P. *Geoecologiya osvoeniya nedr I ecotekhnologii razrabotki mestorozhdeniy.* М.: ООО «Nauchtekhizdat», 2015. 360 p.
- [18] Rynnikova M.V., Radchenko D.N. Creating research center for the environmentally sound and comprehensive utilization of hard minerals in Russia. *Gornyi Zhurnal,* 2014. No. 12. S. 4—7.

Article history:

Received: 09.10.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Radchenko D.N., Gadzhieva L.A., Gavrilenko V.V. (2017) Monitoring of the content of ultradispersed aerosols in the air of the mining industrial region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety,* 25 (4), 520—528. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-520-528

Bio Note:

Radchenko Dmitry Nikolaevich — candidate of technical science., senior researcher of IPKON RAS, Associate Professor of the Department of Geology, Mining and Naphtha Engineering of the PFUR Engineering Academy. E-mail: mining_expert@mail.com

Gadzhieva Louisa Abdu-Samadovna — student of the Department of Geology, Mining and Naphtha Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia, a laboratory assistant of the IPKON RAS. E-mail: gadzhilu@gmail.com

Gavrilenko Vyacheslav Vitalievich — research assistant, IPKON RAS. E-mail: sla-77@yandex.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-529-539

УДК 504.054:550.46:504.3.054:631.416.9

МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ЧАСТИЦАХ PM10 ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ ВОСТОЧНОЙ МОСКВЫ

Д.В. Власов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991

Цель исследования — впервые выявить особенности накопления металлов и металлоидов (ММ) во фракции PM10 дорожной пыли на разных по интенсивности движения дорогах восточной части Москвы (ВМ). Выделенные методом отмучивания PM10 изучались в муниципальных районах Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский Восточного административного округа (ВАО) Москвы. Концентрации ММ в PM10 определялись масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами. Геохимическая специализация PM10 относительно верхней части континентальной коры имеет вид $Cd_{22}Ag_{21}Sb_{21}Sn_{11}Se_{10}Cu_9Bi_9Pb_8Zn_8Mo_7W_4Te_3S_2P_2$, что указывает на поступление этих ММ преимущественно от техногенных источников. Для остальных ММ преобладают природно-техногенные и природные источники. Обогащенность PM10 Zn увеличивается с ростом транспортной нагрузки, максимумы содержания Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti и K характерны для крупных, а Sr, Nb, Ga, S, W, Pb и Te — средних дорог. Суммарное обогащение PM10 ММ максимально на средних и крупных дорогах, где формируется очень опасная экологическая ситуация, на МКАД и малых дорогах она снижается до опасной.

Ключевые слова: дорожная пыль, загрязнение, источники элементов, химический состав PM10

Введение

Аэрозоли — одни из главных источников поступления металлов и металлоидов в организмы наряду с пищей и водой. В настоящее время основное внимание уделяется экологически опасным частицам PM10 (диаметром менее 10 мкм), накапливающимся в верхних дыхательных путях [1]. Одним из источников поступления первичного аэрозоля в атмосферу городов является дорожная пыль: движение автотранспорта приводит к выдуванию пыли с дорожного полотна, что обуславливает поступление более половины массы частиц PM10 в атмосферу [2].

При отсутствии снежного покрова химический состав дорожной пыли является информативным объектом геохимического мониторинга городов, что позволяет выявить основные источники поступления ММ в городскую окружающую среду. В элементном плане лучше изучено распределение Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, меньше — Sb, Bi, Mo, Ag, As и других ММ. Содержание ММ в гранулометрических фракциях пыли исследовано недостаточно. В большинстве работ анализируются фракции < 63, 63–250, 250–500, 500–1000 мкм, хотя наиболее экологически опасны менее изученные тонкие фракции пыли и ила (PM10, PM1).

В Москве в 2016 г. среднегодовые концентрации PM_{10} в воздухе составили $0,028 \text{ мг/м}^3$ или 0,71 ПДК [3]. По оценкам НИИ автомобильного транспорта, в период с 2011 по 2016 гг. несмотря на сильное увеличение территории города (расширение Москвы в 2012 г.) и рост количества транспортных средств, выбросы твердых частиц от транспорта сократились в 1,3 раза [3]. Вероятно, это произошло из-за использования более чистых марок бензина и повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания: в 2002 г. на легковые автомобили класса Евро-0 приходилось около 74%, Евро-1 — 11%, Евро-2 — 8%, Евро-3 — 7% от всех автомобилей города, в то время как в 2012 г. основную массу составляли уже легковые автомобили класса Евро-3 (35%), Евро-4 (33%) и Евро-5 (10%) [4]. Выбросы твердых частиц от легковых автомобилей с дизельным двигателем, работающих на топливе Евро-5 и Евро-6, в 28—36 раз меньше по сравнению с Евро-1 и в 5 раз — по сравнению с Евро-4 [5].

Накопление ММ дорожной пылью изучалось лишь в нескольких городах России [6—9]. Поэтому цель работы — выявить особенности накопления ММ во фракции PM_{10} дорожной пыли на разных по интенсивности движения дорогах восточной части Москвы. Для этого решались следующие задачи:

- определение геохимической специализации PM_{10} дорожной пыли и установление степени обогащенности этих частиц ММ;
- выявление различий в составе PM_{10} на разных по интенсивности движения дорогах ВМ;
- эколого-геохимическая оценка опасности обогащения PM_{10} ММ.

Материалы и методы

Изучалась ВМ, включающая муниципальные районы Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский. Основные источники загрязнения здесь — ряд крупных промышленных зон, автомагистралей, ТЭЦ-11, районная тепловая станция «Перово» [10].

Дорожная пыль ($n = 16$) отбиралась в июле 2013 г. с поверхности дорожного полотна пластиковыми щеткой и совком в трех повторностях на расстоянии 5—10 м в каждой точке после пятидневного сухого периода на дорогах с различной интенсивностью движения (рис. 1): МКАД (около 250 тыс. автомобилей в сутки; точки 3, 5, 8); крупных улицах (80—100 тыс. автомобилей в сутки) — ш. Энтузиастов (т. 2, 16), Носовихинское ш. (т. 4); средних улицах (40—55 тыс.) — Б. Косинская ул. (т. 6), ул. Вешняковская (т. 9, 11), Свободный пр-т (т. 13), перекресток Зеленого пр-та, улиц Перовской и Плеханова (т. 15); малых улицах (20—25 тыс.) — Новогиреевская ул. (т. 1), ул. Дмитриевского (т. 7), перекресток улиц Молдагуловой и Снайперской (т. 10), Союзный пр-т (т. 12), перекресток улиц Metallургов и Мартеновская (т. 14).

Затем в Эколого-геохимическом центре МГУ методом отмучивания выделена фракция PM_{10} , химический состав которой определялся во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионным (ICP-AES) методами с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре “Elan-6100” и атомно-эмиссионном спектрометре “Optima-4300” (“Perkin Elmer”, США) соответственно аналитиками лаборатории.

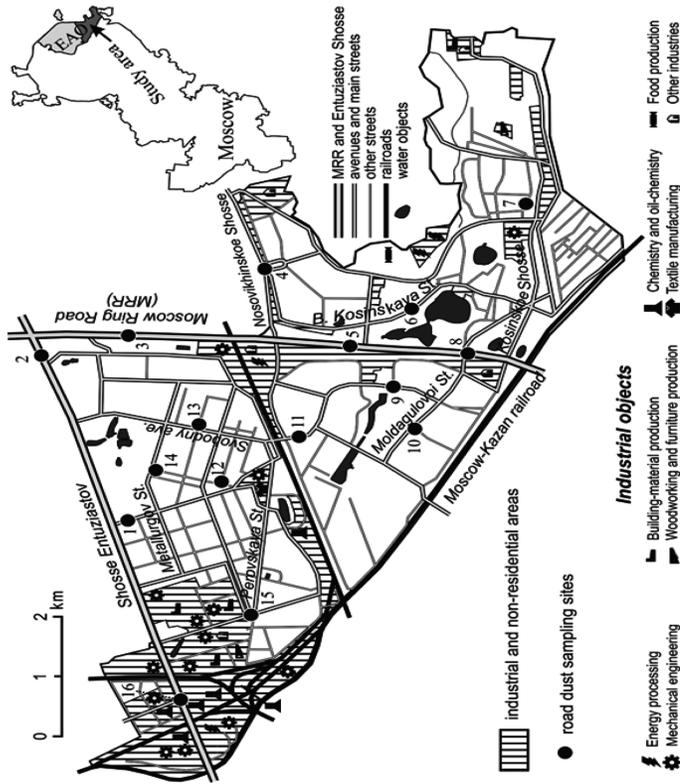


Fig. 1. Road dust sampling sites in the EM. EAO — Eastern Administrative Okrug

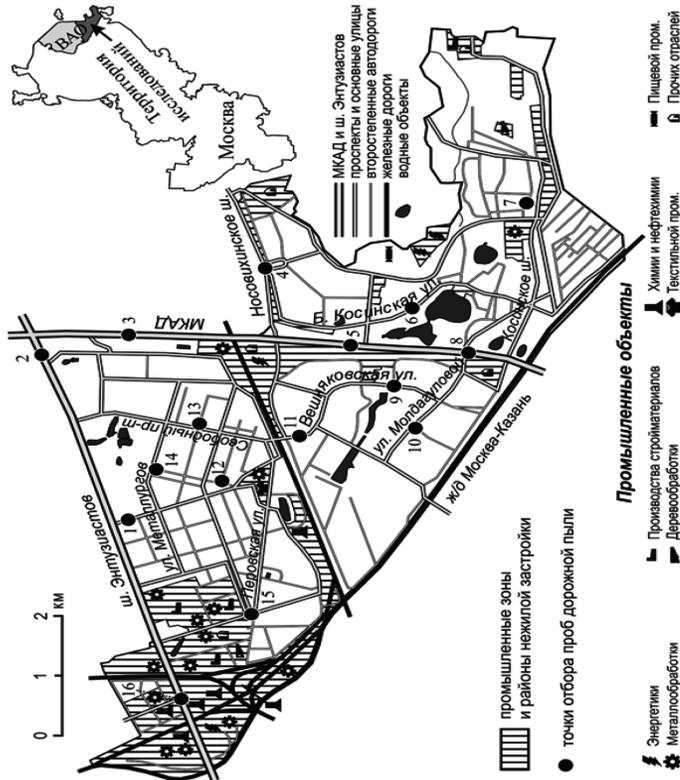


Рис. 1. Точки отбора проб дорожной пыли в ВМ

При обработке полученных данных использовались следующие показатели: коэффициент обогащения $K_e = (C / C_{\text{норм}})_{\text{проба}} / (C / C_{\text{норм}})_{\text{земн. кора}}$, где C и $C_{\text{норм}}$ — содержание исследуемого и нормирующего элементов соответственно в пробе и в верхней части континентальной земной коры (сравнение производится с земной корой из-за отсутствия фоновых аналогов дорожной пыли), мг/кг; суммарное обогащение Z_e дорожной пыли поллютантами: $Z_e = \sum K_e - (n - 1)$ при $K_e > 1,5$, где n — число элементов с $K_e > 1,5$ [9]. В качестве градаций экологической опасности для величины Z_e приняты уровни суммарного показателя загрязнения, разработанные для пылевой составляющей снега: < 32 — неопасный, $32-64$ — умеренно опасный, $64-128$ — опасный, $128-256$ — очень опасный, > 256 — чрезвычайно опасный [10]. В качестве нормирующего элемента была принята сумма концентраций редкоземельных элементов TR (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).

Результаты и обсуждение

Концентрации Ag, Cd и Sb в частицах PM10 дорожной пыли ВМ примерно в 20 раз, Sn, Se, Cu, Bi, Pb, Zn и Mo в 6–10 раз, а W, S и P в 2–4 раза больше кларков верхней части континентальной коры. Близкие концентрации установлены для дорожной пыли других городов, в Цюрихе и испанской Жироне содержание некоторых ММ в PM10 в несколько раз больше, чем в ВМ [11].

Таблица

Содержание ММ в частицах PM10 дорожной пыли ВМ (С, мг/кг), кларки элементов (К, мг/кг) и интенсивность обогащения PM10 ММ (Metals and metalloids (MM) content in PM10 particles of the road dust in the Eastern Moscow (C, mg/kg), abundances of MM in the upper continental crust (K, mg/kg) and enrichment factor K_e (reference elements – rare-earth elements TR)

ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e	ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e
Li	25	33	[15]	0,8	Rb	48	110	[12]	0,5
Be	0,910	2,3	[15]	0,4	Sr	40	270	[15]	0,2
B	25	34	[15]	0,8	Zr	48	193	[13]	0,3
Al	18532	76100	[15]	0,3	Nb	1,4	12	[15]	0,1
P	1399	690	[15]	2,2	Mo	6,8	1,1	[13]	6,8
S	2138	953	[12]	2,5	Ag	1,0	0,053	[13]	21
K	4508	23240	[13]	0,2	Cd	1,8	0,09	[13]	22
Ti	806	3900	[15]	0,2	Sn	25	2,5	[12]	11
V	67	106	[14]	0,7	Sb	16	0,81	[15]	21
Cr	77	92	[15]	0,9	Te	0,062	0,027	[14]	2,5
Mn	432	770	[15]	0,6	Cs	3,2	4,9	[14]	0,7
Fe	28034	40600	[15]	0,8	Ba	178	628	[13]	0,3
Co	17	15	[14]	1,3	Hf	1,6	4,5	[15]	0,4
Ni	56	50	[15]	1,2	W	7,5	2,03	[15]	4,1
Cu	229	27	[14]	9,3	Tl	0,416	0,75	[12]	0,6
Zn	546	75	[15]	8,0	Pb	130	17	[15]	8,4

ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e	ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e
Ga	10	14	[12]	0,8	Bi	1,8	0,23	[14]	8,9
Ge	0,548	1,3	[15]	0,5	Th	9,1	10,5	[13]	0,96
As	8,2	5,6	[15]	1,6	U	2,6	2,5	[15]	1,1
Se	0,802	0,09	[13]	9,8	TR	171	189	[12—15]	—

Примечание. TR — сумма концентраций редкоземельных элементов, для которых использовались следующие оценки кларков верхней части континентальной земной коры: Y [12], Pr, Eu, Gd, Dy [13], Sc, Tm [14], La, Ce, Nd, Sm, Tb, Ho, Er, Yb, Lu [15].

Note. TR — the sum of the concentrations of rare-earth elements for which the following estimates of abundances in the upper continental crust were used: Y [12], Pr, Eu, Gd, Dy [13], Sc, Tm [14], La, Ce, Nd, Sm, Tb, Ho, Er, Yb, Lu [15].

Частицы PM10 обогащены Cd, Ag, Sb, Sn, Se, Cu, Bi, Pb, Zn, Mo, W, Te, S и P ($K_e > 2$), что указывает на поступление этих ММ преимущественно от техногенных источников (рис. 2), среди которых выделяют эмиссию частиц машинного масла и атмосферных выбросов сжигания топлива (Sb, Zn, Cu, Pb, Mo), абразию дорожного покрытия и разметки (Ag, Zn, As, W, Cr, V, Co), истирание шин (Sb, Cd, Zn, Pb, Cu, Co, Ni, Cr), износ тормозных колодок и легированных поверхностей (Sb, Ag, Zn, Cu, Pb, Ni, W, Cr) [16—18]. Для As, Co, Ni, U, Th, Cr, Li, B, Ga, Fe, Cs, V, Mn, Tl, Rb, Ge, Be, Hf, Ba, Zr, Al, Ti, K, Sr и Nb ($K_e < 2$) преобладают природно-техногенные и природные источники поступления — почвообразующие породы, почвы, природные строительные материалы для создания дорожного полотна и др. В среднем частицы PM10 обогащены (цифра — значение K_e) элементами Cd₂₂, Ag₂₁, Sb₂₁, Sn₁₁, Se₁₀, Cu₉, Bi₉, Pb₈, Zn₈, Mo₇, W₄, Te₃, S₂, P₂.

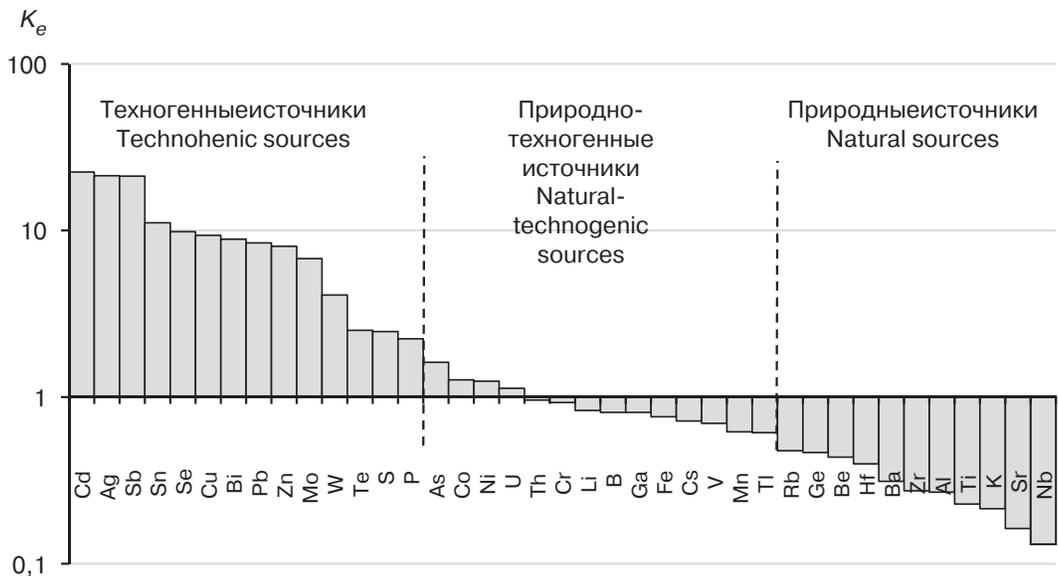


Рис. 2. Источники ММ во фракции PM10 дорожной пыли ВМ
 [Fig. 2. Sources of MM in PM10 particles of the road dust in the Eastern Moscow]

Количество и химический состав дорожной пыли зависит от режима движения, включая тип, скорость и количество маневров, связанных с остановкой [19; 20]. Обычно, с усилением интенсивности движения концентрации Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Ti, Mo, Fe, Zr, K и Ca в дорожной пыли увеличиваются [21]. В PM10 дорожной пыли ВМ в зависимости от характера связи с интенсивностью транспортной нагрузки элементы делятся на 4 группы: 1 — с усилением транспортной нагрузки K_e увеличивается у Zn; 2 — максимум K_e характерен для Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti, K в PM10 на крупных дорогах; 3 — максимум K_e установлен для Sr, Nb, Ga, S, W, Pb, Te в PM10 на средних дорогах; 4 — K_e слабо отличается на разных дорогах у Sn, As, Sb, Se, Ge, Bi, Ni, Cd, Be, Ag, P, B, U, Hf, Rb, Cs, Li, Tl, Zr, Th и Co (рис. 3).

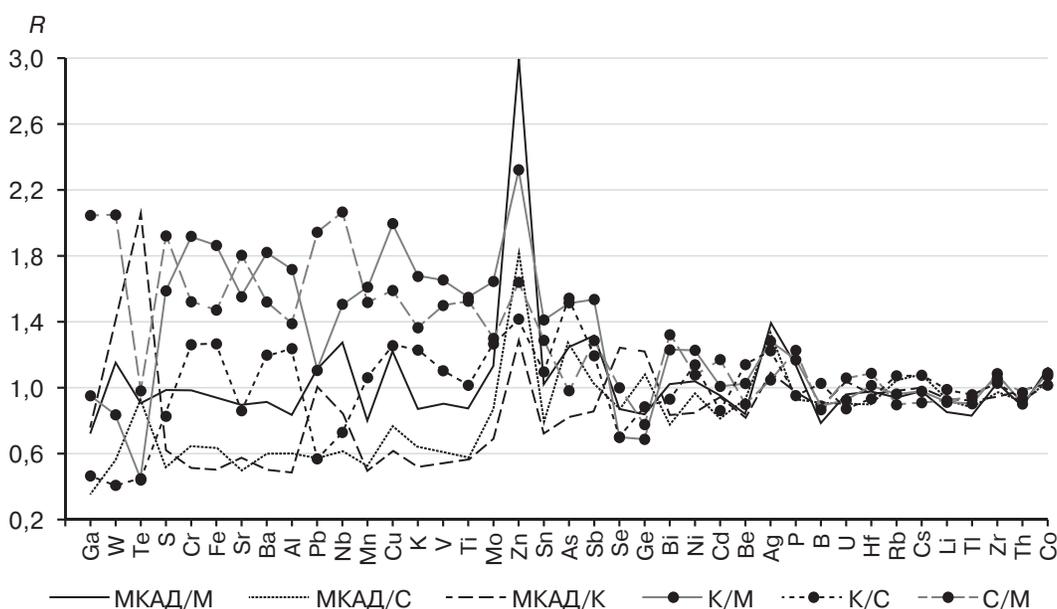


Рис. 3. Отношения K_e ММ в пыли разных дорог (R, раз):
М — малых; С — средних; К — крупных и МКАД

[Fig. 3. Relations of enrichment factors K_e of MM in PM10 particles of the road dust on different roads of Eastern Moscow (R, times): M — small roads; C — medium roads; K — large roads; МКАД — Moscow Ring Road]

Обогащенность PM10 ММ на дорогах с разным по интенсивности транспортным потоком объясняется двумя причинами. Первая — «механическая»: из-за выдувания мелких частиц с дорожного полотна при росте скоростей движения транспорта и большей продуваемости крупных магистралей по сравнению с малыми в дорожной пыли постепенно увеличивается доля крупных частиц. На малых и средних улицах выбросы транспорта содержат большее количество мелких частиц за счет истирания тормозных колодок, шин и дорожного покрытия в результате частых прерываний движения из-за большого количества светофоров, остановок общественного транспорта, дорожных пробок и др. Так, заторы, уменьшающие скорость транспортного потока до 20 км/ч, приводят к увеличению выбросов на 30% [22]. Вторая — «химическая»: различия в химической

специализации выбросов разных типов транспорта. Так, на малых и средних внутриквартальных дорогах велика доля пассажирского транспорта (автобусов, троллейбусов, микроавтобусов и др.), а на крупных магистралях и МКАД их доля уменьшается одновременно с увеличением количества грузовых и легковых автомобилей. Согласно работе [3], в Москве концентрации CO и NO₂ в воздухе рядом с автотрассами в пределах третьего транспортного кольца почти в 2 раза выше, чем на удалении от центра города (в пределах от третьего транспортного кольца до МКАД). При этом, 56% всех твердых частиц поставляют грузовые автомобили массой более 3,5 т, 29% — автобусы, 10% — легковые автомобили и 5% — грузовые массой менее 3,5 т [3].

Наиболее сильно концентрируют ММ частицы PM10 на средних и крупных дорогах, где Z_e составляет 135, что соответствует очень высокому уровню с очень опасной экологической ситуацией. Этот коэффициент уменьшается как с ростом интенсивности движения, равняясь на МКАД 125 единицам, так и с его снижением — в PM10 на малых дорогах он опускается на 33 единицы до 102, что в обоих случаях формирует сильное загрязнение с опасной экологической ситуацией. Это, вероятно, связано с различиями в химическом составе выбросов и структуре автопарка на разных типах дорог.

Выводы

1. Геохимическая специализация частиц PM10 дорожной пыли ВМ имеет вид (в единицах K_e) Cd₂₂Ag₂₁Sb₂₁Sn₁₁Se₁₀Cu₉Bi₉Pb₈Zn₈Mo₇W₄Te₃S₂P₂, что указывает на поступление этих ММ преимущественно от техногенных источников. Для As, Co, Ni, U, Th, Cr, Li, V, Ga, Fe, Cs, V, Mn, Tl, Rb, Ge, Be, Hf, Ba, Zr, Al, Ti, K, Sr и Nb преобладают природно-техногенные и природные источники.

2. Интенсивность обогащения PM10 ММ зависит от типа дороги. Обогащенность PM10 Zn увеличивается с ростом транспортной нагрузки, максимумы содержания Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti и K в PM10 характерны для крупных дорог, а Sr, Nb, Ga, S, W, Pb и Te — средних дорог, что связано с выдуванием частиц и различием в химической специализации выбросов разных типов транспорта. Концентрации Sn, As, Sb, Se, Ge, Bi, Ni, Cd, Be, Ag, P, B, U, Hf, Rb, Cs, Li, Tl, Zr, Th и Co в PM10 слабо зависят от величины транспортного потока.

3. В частицах PM10 дорожной пыли ВМ формируются контрастные техногенные геохимические аномалии Cd, Ag, Sb, Sn, Se, Cu, Bi, Pb, Zn и Mo на средних и крупных дорогах, на которых, вероятно, из-за небольших скоростей ветра накапливаются эти частицы, что усиливает загрязнение воздуха и формируется очень опасная экологическая ситуация. На МКАД и малых дорогах она снижается до опасной.

Информация о конфликте интересов:

Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование:

Изучение обогащенности PM10 ММ осуществлялось по проекту Русского географического общества (договор № 04/2017-И), влияния интенсивности движения транспорта

на состав PM10 — Российского научного фонда (проект № 14-27-00083), обобщение данных — Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 03/2017/РГО-РФФИ).

Благодарности:

Автор благодарен Н.С. Касимову и Н.Е. Кошелевой за полезные советы и критические замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Tager I.B.* Health effects of aerosols: Mechanisms and epidemiology // Ruzer L.S., Harley N.H., editors. *Aerosols Handbook: Measurement, dosimetry, and health effects*. Boca Raton: CRC Press, 2005. P. 619—696.
- [2] *epa.gov* [Internet]. United States Environmental Protection Agency. National Emissions Inventory [дата обращения: 21.10.2017]. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data>
- [3] Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП, 2017.
- [4] *Донченко В., Кунин Ю., Рузский А., Виженский В.* Методы расчета выбросов от автотранспорта и результаты их применения // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 3. С. 44—51.
- [5] *dieselnet.com* [Internet]. DieselNet. Emission standards. EU: cars and light trucks [дата обращения: 21.10.2017]. URL: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- [6] *Кайгородов Р.В., Тиунова М.И., Дружинина А.В.* Загрязняющие вещества в пыли проезжих частей дорог и в древесной растительности придорожных полос городской зоны // Вестник Перм. ун-та. Сер. биол. 2009. Вып. 10 (36). С. 141—146.
- [7] *Ладонин Д.В., Пляскина О.В.* Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москвы // Почвоведение. 2009. № 1. С. 106—118.
- [8] *Прокофьева Т.В., Шишков В.А., Кирюшин А.В., Калушин И.Ю.* Свойства твердых (пылеаэрозольных) атмосферных выпадений придорожных территорий г. Москвы // Известия РАН. Сер. геогр. 2015. № 3. С. 107—120.
- [9] *Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е.* Геохимия дорожной пыли (Восточный округ г. Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2015. № 1. С. 23—33.
- [10] *Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- [11] *Amato F., Pandolfi M., Moreno T., Furger M., Pey J., Alastuey A., Bukowiecki N., Prevot A.S.H., Baltensperger U., Querol X.* Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities // *Atmospheric Environment*. 2011. Vol. 45. P. 6777—6787.
- [12] *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. Vol. 59. No. 7. P. 1217—1232.
- [13] *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // Rudnick R.L., editor. *Treatise on geochemistry*. Vol. 3: The Crust. Elsevier Science, 2003. P. 1—64.
- [14] *Hu Z., Gao S.* Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // *Chemical Geology*. 2008. Vol. 253. Iss. 3—4. P. 205—221.
- [15] *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- [16] *Adachi K., Tainosho Y.* Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust // *Environment International*. 2004. Vol. 30. P. 1009—1017.
- [17] *Charlesworth S.M., De Miguel E., Ordoñez A.* A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk // *Environmental Geochemistry and Health*. 2011. Vol. 33. Iss. 2. P. 103—123.

- [18] *Limbeck A., Puls C.* Particulate emissions from on-road vehicles // Zereini F., Wiseman C.L.S., editors. *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. P. 63—79.
- [19] *Irvine K.N., Perrelli M.F., Ngoen-klan R., Droppo I.G.* Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications // *Journal of Soils and Sediments*. 2009. Vol. 9. P. 328—341.
- [20] *Nazzari Y., Rosen M.A., Al-Rawabden A.M.* Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013. Vol. 185. P. 1847—1858.
- [21] *Duong T.T., Lee B.K.* Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics // *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92. P. 554—562.
- [22] *Касимов Н.С., Битюкова В.П., Малхазова С.М., Кошелева Н.Е., Никуфорова Е.М., Шартова Н.В., Власов Д.В., Тимонин С.А., Крайнов В.Н.* Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.

© Власов Д.В., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 28.11.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Власов Д.В. Металлы и металлоиды в частицах PM10 дорожной пыли Восточной Москвы // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 4. С. 529—539. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-529-539

Сведения об авторе:

Власов Дмитрий Валентинович — кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. E-mail: vlasgeo@yandex.ru

METALS AND METALLOIDS IN PM10 FRACTION OF THE ROAD DUST OF EASTERN MOSCOW

D.V. Vlasov

Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory, 1, Moscow, Russia, 119991

The aim of the study is to reveal the features of the accumulation of metals and metalloids (MM) in the PM10 fraction of road dust at different traffic levels in the eastern part of Moscow. Highlighted by elutriation PM10 particles were studied in the municipal areas of Sokolinaya Gora, Perovo, Ivanovo, Novogireevo, Veshnyaki, Novokosino and Kosino-Ukhtomsky of Eastern Administrative District of Moscow. The concentrations of MM in PM10 were determined by mass-spectral and atomic-emission methods. The geochemical specialization of PM10 fraction relative to the upper continental crust has the form $Cd_{22}Ag_{21}Sb_{21}Sn_{11}Se_{10}Cu_9Bi_9Pb_8Zn_8Mo_7W_4Te_3S_2P_2$, which indicates the technogenic sources of these MM. For the rest MM natural-technogenic and natural sources predominate. The enrichment

of the PM10 with Zn increases with the growth of the transport load, the maximum contents of Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti and K are typical for large roads, and Sr, Nb, Ga, S, W, Pb and Te for medium roads. The total enrichment of PM10 with MM is maximized on medium and large roads, where a very dangerous ecological situation is formed, on the Moscow Ring Road and small roads it decreases to a dangerous.

Key words: road dust, pollution, sources of chemical elements, chemical composition of PM10

REFERENCES

- [1] Tager I.B. Health effects of aerosols: Mechanisms and epidemiology. In: Ruzer L.S., Harley N.H., editors. *Aerosols Handbook: Measurement, dosimetry, and health effects*. Boca Raton: CRC Press; 2005. P. 619—696.
- [2] epa.gov [Internet]. United States Environmental Protection Agency. National Emissions Inventory [cited 2017 October 21]. Available from: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data>
- [3] Kul'batchevskii A.O., editor. Report on the state of the environment in the city of Moscow in 2016. Moscow: DPiOOS; NIiPI IGSP, 2017 (In Russ).
- [4] Donchenko V., Kunin J., Ruzsky A., Vizhensky V. Methods for estimating emissions from vehicles and their application. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2014; (3): 44—51 (In Russ).
- [5] dieselnets.com [Internet]. DieselNet. Emission standards. EU: cars and light trucks [cited 2017 October 21]. Available from: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>
- [6] Kaygorodov R.V., Tiunova M.I., Druzshinina A.A. Polluting substances in a dust of travellers of parts and in wood vegetation of roadside strips of a city zone. *Vestnik Permskogo Universiteta, Seriya: Biologiya*. 2009; 10(36): 141—146 (In Russ).
- [7] Ladonin D.V., Plyaskina O.V. Isotopic composition of lead in soils and street dust in the Southeastern administrative district of Moscow. *Eurasian Soil Science*. 2009; 42(1): 93—104. doi: 10.1134/S1064229309010128.
- [8] Prokof'eva T.V., Shishkov V.A., Kiryushin A.V., Kalushin I.Yu. Properties of atmospheric solid fallouts in roadside areas of Moscow. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015; (3): 107—120 (In Russ).
- [9] Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Geochemistry of the road dust in the Eastern district of Moscow. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, seriya Geografiya*. 2015; (1): 23—33 (In Russ).
- [10] Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Landscape geochemistry of Eastern Moscow. Moscow: APR, 2016 (In Russ).
- [11] Amato F., Pandolfi M., Moreno T., Furger M., Pey J., Alastuey A., Bukowiecki N., Prevot A.S.H., Baltensperger U., Querol X. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmospheric Environment*. 2011; 45: 6777—6787. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.06.003.
- [12] Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995; 59(7): 1217—1232. doi: 10.1016/0016-7037(95)00038-2.
- [13] Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. In: Rudnick RL, editor. *Treatise on geochemistry. Vol. 3: The Crust*. Elsevier Science; 2003. P. 1—64. doi: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4
- [14] Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chemical Geology*. 2008; 253(3—4): 205—221. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010.
- [15] Grigor'ev N.A. Distribution of chemical elements in the upper continental crust. Yekaterinburg: UrO RAN, 2009 (In Russ).
- [16] Adachi K., Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International*. 2004; 30: 1009—1017. doi: 10.1016/j.envint.2004.04.004.
- [17] Charlesworth S.M., De Miguel E., Ordoñez A. A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk. *Environmental Geochemistry and Health*. 2011; 33(2): 103—123. doi: 10.1007/s10653-010-9325-7

- [18] Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles. In: Zereini F., Wiseman C.L.S., editors. *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin; 2011. P. 63—79. doi: 10.1007/978-3-642-12278-1_4
- [19] Irvine K.N., Perrelli M.F., Ngoen-klan R., Droppo I.G. Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications. *Journal of Soils and Sediments*. 2009; 9: 328—341. doi: 10.1007/s11368-009-0098-5
- [20] Nazzal Y., Rosen M.A., Al-Rawabden A.M. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013; 185: 1847—1858. doi: 10.1007/s10661-012-2672-3
- [21] Duong T.T.T., Lee B.K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*. 2011; 92: 554—562. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.09.010
- [22] Kasimov N.S., Bityukova V.R., Malkhazova S.M., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Shartova N.V., Vlasov D.V., Timonin S.A., Krainov V.N. Regions and cities of Russia: the integrated assessment of the environment. Moscow: IP Filimonov M.V., 2014 (In Russ).

Article history:

Received: 28.11.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Vlasov D.V. (2017) Metals and metalloids in PM10 Fraction of the road dust of Eastern Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 529—539. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-529-539

Bio Note:

Vlasov Dmitrij Valentinovich — candidate of geographical science, research assistant, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. E-mail: vlasgeo@yandex.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-540-547

УДК 591.9:595.7(470.64)

ПИЯВКИ (HIRUDINEA) В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИЭЛЬБРУСЬЕ»

А.В. Якимов¹, С.К. Черчесова², В.Д. Львов³, К.Х. Залиханов⁴, Б.Г. Койбаев²

¹ ОП Кабардино-Балкарский республиканский отдел по рыболовству и сохранению ВБР

Западно-Каспийского филиала ФГБУ «Главрыбвод»

ул. Тургенева, 21, Нальчик, КБР, Россия, 360000

² Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова

ул. Ватутина, 46, Владикавказ, РСО-Алания, Россия, 362025

³ Чегемский форелевый рыбоводный завод филиал ФГБУ «Главрыбвод»

с.п. Янкой, КБР, Россия, 360000

⁴ ФГБУ «Национальный парк «Приэльбрусье»

ул. Лесная, 2, с.п. Эльбрус, КБР, Россия, 360000

В работе приведены сведения о фауне пиявок, обитающих в различных водоемах на особо охраняемой природной территории ФГБУ «Национальный парк «Приэльбрусье». Из 12 известных в Кабардино-Балкарской Республики (КБР) видов пиявок в водоемах национального парка обитает всего 4 вида: *Proteclepsis tessulata* (O.F. Muller, 1774), *Helobdella stagnalis* (L., 1758), *Haemoris sanguisuga* (L., 1758) и *Herpobdella octoculata* (L., 1758). Показано место пиявок в водных экосистемах. Установлено, что в их появлении в водоемах Национального парка «Приэльбрусье» основную роль сыграла антропогенная деятельность, прежде всего устройство искусственных непроточных и слабопроточных водоемов.

Ключевые слова: пиявки, водные экосистемы, национальный парк «Приэльбрусье», высокогорье

Введение

Пиявки — одна из древнейших групп водных животных, известная с ранних палеозойских отложений [5]. Несмотря на свою «примитивность», в пределах Палеарктики на сегодня известно о 62 валидных видах пиявок [5; 12]. Достаточно отметить, что в середине прошлого столетия только на территории современного Северного Кавказа было выявлено 18 видовых форм [4; 8]. В дальнейшем данная группа гидробионтов изучалась спонтанно, чаще всего ограничиваясь на исследовании биологии и экологии медицинской пиявки [1; 3; 6].

В 2012 г. группой гидробиологов из Республики Адыгея и Краснодарского края были приведены сведения о фауне пиявок Северо-Западного Кавказа [11].

Исследование пиявок, как и в целом гидробионтов, чаще всего ограничивались равниной и предгорьем. Исследования авторов статьи затрагивают высокогорную часть Кабардино-Балкарии — особо охраняемую природную территорию как ФГБУ «Национальный парк «Приэльбрусье» (высота свыше 1500 м над уровнем

моря (ур.м.)). Национальный парк «Приэльбрусье» (рис. 1) был zaloжен в 1986 году. Площадь ООПТ на сегодня составляет 101 тысяча га. Географически национальный парк расположен на территории Эльбрусского и Зольского муниципальных районов КБР. Основная цель его создания — сохранения уникального природного комплекса в условиях высокогорья.

Актуальность заключается в том, что до настоящего времени не было известно находок пиявок в условиях водоемов высокогорной зоне Кабардино-Балкарской Республики и, в частности на территории национального парка «Приэльбрусье».

Цель исследований — установить видовой состав, территориальное размещение и биотопическую приуроченность установленных видов пиявок в водоемах ФГБУ «Национальный парк «Приэльбрусье».

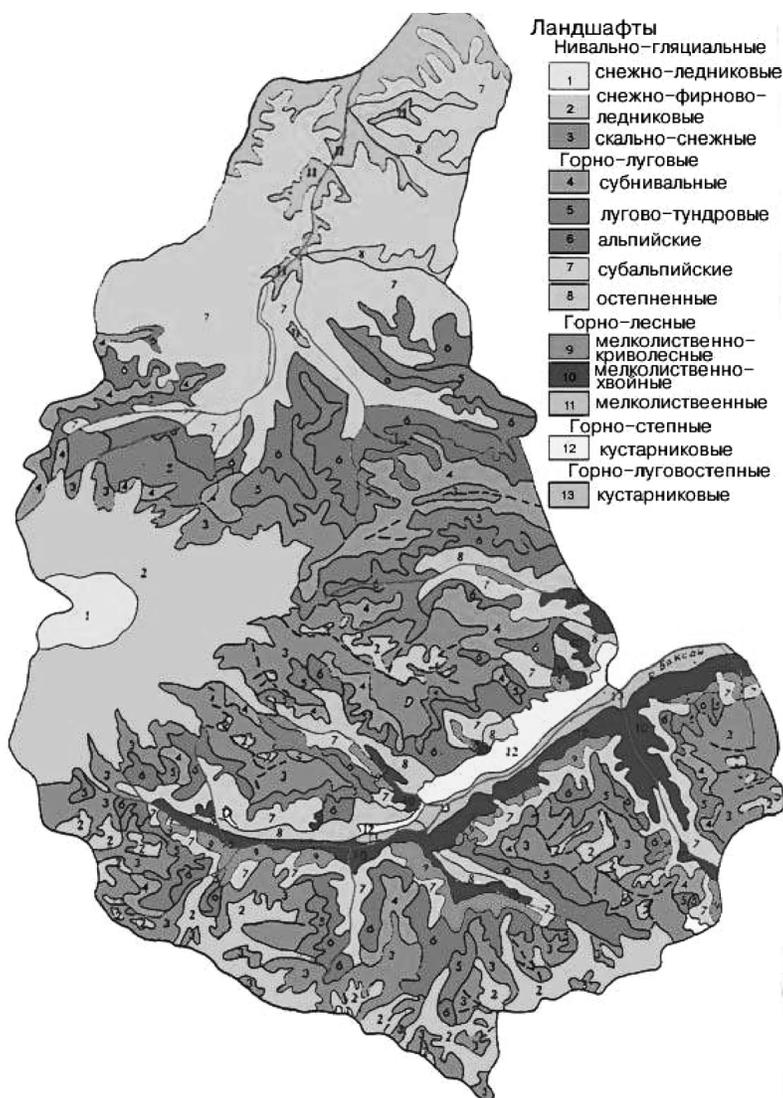


Рис. 1. Ландшафтная карта Национального парка «Приэльбрусье» (по А.Н. Гуня, И.А. Лабутина)
[**Fig. 1.** Landscape map of the Prielbrusie National Park (after A.N. Gunya, I.A. Labutina)]

Материал и методы

Материалом для исследований послужили гидробиологические сборы, затрагивающие все группы гидробионтов, а также специальные сборы по пиявкам за период 1991—2017 гг. Пробы отбирались как из естественных, так и антропогенных водоемах, расположенных на территории ООПТ ГНП «Приэльбрусье».

Пиявки собирались с использованием общепринятых гидробиологических методик [5; 7; 10]: вручную водным сачком с камней и других затопленных предметов. Количественные пробы отбирались бентометром Садовского [7] согласно ГОСТу 17.1.3.07—82. Птичьи пиявки собирались с птенцов водоплавающих птиц, которые после осмотра (в основном области клюва) выпускались обратно.

Пойманных пиявок фиксировали 3—4%-м раствором формалина или 70° раствором этанола. Всего из различных водоемов верховий Малка и Баксан в пределах Национального парка «Приэльбрусье» было отобрано более 1500 качественных и количественных проб. Из них лишь в восьми пробах были отмечены пиявки.

Пиявки определялись с использованием соответствующей, наиболее полной определительной таблицы, представленной в монографии Е. И. Лукина [5]. Микроскопирование проводилось в лабораторных условиях с помощью бинокулярной лупы МБС-1 и микроскопа Olympus. Таксономически значимые признаки пиявок фотографировались цифровой фотокамерой через окуляр. Определялись по форме тела, рисунку дорзальной стороны, глазным пигментным пятнам, размещению половых отверстий, цирусам. Коллекционный материал по пиявкам из водоемов национального парка «Приэльбрусье» хранится в фондах национального парка и ОП Кабардино-Балкарский республиканский отдел по рыболовству и сохранению ВБР Западно-Каспийского филиала ФГБУ «Главрыбвод».

Результаты

В результате таксономического анализа было установлено четыре вида пиявок, населяющих различные водоемы национального парка «Приэльбрусье». Стоит заметить, что в фауне пиявок Кабардино-Балкарии ранее было выявлено 12 видов [9; 10]. Из них 10 видов для КБР и 1 вид для Кавказа были приведены впервые. Однако как отмечалось ранее, эти данные характеризуют фауну пиявок равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарской Республики. Из данных пунктов находок пиявок, в водоемах национального парка «Приэльбрусье» (рис. 2) видно, выше 2000 м над ур. м. пиявки не отмечаются.

В ходе специальных исследований авторов для естественных и искусственных водоемов среднегорья и высокогорья (в пределах национального парка «Приэльбрусье») были выявлены следующие виды пиявок.

1. *Proteclepsis tessulata* (O.F. Muller, 1774) — птичья пиявка. В Кабардино-Балкарии места обитания данного вида приурочены к непроточным водоемам равнинной зоны (ст. Приближная и др.). Это облигатный паразит водоплавающих птиц. В местах массового размножения птичья пивка наносит существенный урон птицеводству [5]. В Кабардино-Балкарии она редка. В условиях национального парка «Приэльбрусье» найдена в небольших, удаленных от населенных пунктов и туристических троп озерах.



Рис. 2. Распространение пиявок на территории Национального парка «Приэльбрусье» (картографическая основа по А.Н. Гуня, И.А. Лабутина):

- 1 — *Protoclepsis tessulata* (O.F. Muller, 1774); 2 — *Helobdella stagnalis* (L., 1758);
- 3 — *Haemopsis sanguisuga* (L., 1758); 4 — *Herpobdella octoculata* (L., 1758)

[**Fig. 2.** Distribution of leeches on the territory of the National Park “Prielbrusye” (cartographic basis by A.N. Gunya, I.A. Labutin)]

Эти искусственные водоемы устроены для водопоя крупного и мелкого рогатого скота, который в массе выпасается на разнотравных лугах Верхнемалкинских пастбищ. В июне 2010 года птичья пиявка в количестве 2-х экземпляров была выявлена у 2-х птенцов красноголового нырка, отловленных в одном из таких водоемов. В целом, ее нахождение в высокогорных стоячих водоемах обусловлено периодическим залетом на территорию национального парка нырка (*Netta sp.*), серой цапли (*Ardea cinerea*) и обыкновенной кваквы (*Nycticorax nycticorax*).

2. *Helobdella stagnalis* (L., 1758) — двуглазая клепсина, или двуглазая пиявка. В Кабардино-Балкарии она отмечена повсеместно: в карьерном водоеме у с.п. Былым (высота около 1000 м над ур.м.), в реке Шалушка в окрестностях с. Герменчик (предгорная зона республики), лесных ручьях, разливах и небольших стоячих водоемах, относительно крупных старицах рек на равнине республики и др. В Палеарктике — одна из самых многочисленных и распространенных пиявок. Отмечается даже в водоемах на высоте около 2500 м над ур.м. [5]. Размножение происходит в течение всего теплого времени года. Питается соками и тканями различных водных беспозвоночных, в том числе и других видов пиявок. Данный вид пиявки способен переносить кратковременное иссушение водоемов. В условиях национального парка двуглазая клепсина — самый многочисленный вид пиявок (24 экземпляра из 5 пунктов находок). Собрана в искусственных стоячих водоемах; в естественных водоемах (ледниковые реки, родниковые ручьи) не отмечена. Это свидетельствует о том, что в условиях высокогорья она — инвазивный вид.

3. *Haemopsis sanguisuga* (L., 1758) — большая ложноконская пиявка. А.Г. Касымов [2] в условиях Кабардино-Балкарской Республики отмечал данный вид в речке около Голубых озер. Авторами она отмечалась в предгорье (окрестностях г. Нальчик, сел Белая Речка, Герменчик, Псыгансу). Довольно обычна эта пиявка в курортном озере «ТРЭК» [9; 10]. В условиях национального парка единственный экземпляр данного вида отмечен в долине р. Адыл-Суу (турбаза УМЦ «Эльбрус») в небольшом искусственном водоеме, устроенном в ложбине родникового ручья. Согласно авторским наблюдениям, эта пиявка активно поедает дождевых червей, т.е. является хищником.

4. *Herpobdella octoculata* (L., 1758) — малая ложноконская пиявка, или нефелида. В водоемах Кабардино-Балкарской Республики — самый массовый вид. Встречается как в старичных и слабопроточных водоемах равнинной части республики (окрестностях с.п. Урожайное, ст. Приближная), так и в предгорной зоне (родниковые ручьи в окрестностях с. Герменчик, Черная Речка, Кенже, Шалушка и др.). Здесь ее численность доходит до пределов 15—25 экз./м² каменисто-галечного субстрата. Отмечена она и в горных водоемах (окрестностях с.п. Каменно-мостское, Сармаково). На территории национального парка данный вид пиявок, также как и остальные, отмечен впервые. Найден в небольшом сочащемся со стабильными гидрологическими условиями ручье у кафе «Сакля» (ущелье реки Адыл-Су, с.п. Эльбрус). Основное русло верховий рек Малка и Баксан, а также их ледниковых притоков избегает.

Обсуждение

В ходе специальных исследований впервые в условиях высокогорья (территория национального парка «Приэльбрусье») было выявлено четыре вида пиявок — *Proclepsis tessulata* (O.F. Muller, 1774), *Helobdella stagnalis* (L., 1758), *Haemopis sanguisuga* (L., 1758) и *Herpobdella octoculata* (L., 1758).

Пиявки, как и основная масса выявленных в условиях высокогорья гидробионтов (олигохет, моллюсков, стрекоз, двукрылых и др.), не являются типичными представителями бентофауны высокогорных участков рек (особенно с ледниковым питанием). Их появление, по всей видимости, связано с нарастающей антропогенной деятельностью — устройством прудов с небольшим (до пределов 0,2—0,5 га) водным зеркалом для рекреационного рыболовства.

Обнаружение птичьей пиявки *Proclepsis tessulata* (O.F. Muller) может свидетельствовать о расширении ареала водоплавающих и рыбоядных птиц.

Дальнейшее изучение данной группы гидробионтов позволит уточнить видовой состав, а также пути проникновения пиявок в условия высокогорья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Каменев О.Ю. Количественная оценка биоресурсов медицинской пиявки на территории Краснодарского края / Гирудо-2006: материалы IX науч.-практ. конф. Ассоциации гирудологов России и стран СНГ; под ред. проф. И.П. Басковой. Балаково, 2006. С. 80—83.
- [2] Касымов А.Г. Пресноводная фауна Кавказа. Баку: Эл-ми, 1972. 300 с.
- [3] Лукин Е.И. К вопросу о распространении медицинской пиявки в СССР // Зоологический журнал. 1957. Т. 36. Вып. 5. С. 658—668.
- [4] Лукин Е.И. К фауне пиявок Северного Кавказа. Итоги северокавказской гидробиологической экспедиции. Тр. ЗИН АН СССР. Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1959. 26. С. 354—359.
- [5] Лукин Е.И. Пиявки пресных и солоноватых водоемов // Фауна СССР: пиявки. Л.: Наука, 1976. Т. 1. 484 с.
- [6] Михайлов С.В. Распространение и биология медицинской пиявки (*Hirudo medicinalis* L.) в Краснодарском крае: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2006. 22 с.
- [7] Садовский А.А. Бентометр — новый прибор для количественного сбора зообентоса в горных реках / Сообщ. АН Груз. ССР. Тбилиси: АН Груз. ССР, 1948. IX, 6. С. 365—368.
- [8] Терехов П.А. Пиявки. Ресурсы живой фауны. Ч. 1. Водные животные. Ростов: РГУ, 1980. С. 67—73.
- [9] Хатухов А.М., Якимов А.В. Пиявки водоемов Кабардино-Балкарии / Актуальные вопросы биологии и медицины. Нальчик: КБГУ, 1999. С. 114—116.
- [10] Хатухов А.М., Якимов А.В., Барагунова Е.А. Пиявки Кабардино-Балкарии. Методические указания. Нальчик: КБГУ, 2001. 24 с.
- [11] Шаповалов М.И., Моторин А.А., Тхабисимова А.У. Пиявки (Hirudinea) в условиях антропогенной трансформации водных экосистем Северо-Западного Кавказа // Вода: химия и экология. 2012. № 4. С. 61—67.
- [12] Эпштейн В.М. Класс пиявки. Определитель паразитов пресноводных рыб. Т. 3. (ред. О.Н. Бауэр). Л.: ЗИН АН СССР, 1987. С. 340—372.

© Якимов А.В., Черчесова С.К., Львов В.Д.,
Залиханов К.Х., Койбаев Б.Г., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 11.10.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Якимов А.В., Черчесова С.К., Львов В.Д., Залиханов К.Х., Койбаев Б.Г. Пиявки (Hirudinea) в водных экосистемах национального парка Приэльбрусье // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 4. С. 540—547. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-540-547

Сведения об авторах:

Якимов Андрей Владимирович — кандидат биологических наук, начальник ОП Кабардино-Балкарского республиканского отдела по рыболовству и сохранению ВБР Западно-Каспийского филиала ФГБУ «Главрыбвод», старший научный сотрудник ФГБУ «Национальный парк «Приэльбрусье». E-mail: yakimov_andrei@mail.ru

Черчесова Сусанна Константиновна — доктор биологических наук, профессор Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова. E-mail: cherchesova@yandex.ru

Львов Владимир Дмитриевич — главный рыбовод Чегемского форелевого рыбоводного завода филиала ФГБУ «Главрыбвод».

Залиханов Каплан Хасанович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУ «Национальный парк «Приэльбрусье».

Койбаев Борис Георгиевич — аспирант Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова. E-mail: koibaevbg@mail.ru

LEECHES (HIRUDINEA) IN AQUATIC ECOSYSTEMS OF NATIONAL PARK “PRIELBRUSYE”

A.V. Yakimov¹, S.K. Cherchesova², V.D. L'vov³, K.H. Zalihanov⁴, B.G. Kojbaev²

¹ OP Kabardino-Balkarian Republican Division for Fisheries and Conservation of the Far Eastern Branch of the West Caspian Branch of the Glavrybvod FGBU

Turgenev str., 21, Nalchik, Kabardino-Balkar Republic, Russia, 360000

² North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov

Vatutina str., 46, Vladikavkaz, North Ossetia-Alania, Russia, 362025

³ the Chegem trout hatchery of the Glavrybvod branch of the FGBU

rural settlement Yanikoy, Kabardino-Balkar Republic, Russia, 360000

⁴ the Federal State Institution “National Park ‘Prielbrusye’”

Lesnaya str., 2, rural settlement Elbrus, Kabardino-Balkar Republic, Russia, 360000

The article provides information about the fauna of leeches living in the various reservoirs on especially protected natural territories of the Federal state budget establishment “The National Park ‘Prielbrusye’”. Only 4 of the 12 known in the Kabardino-Balkar Republic species of leeches inhabit the waters of the National Park ponds: *Protolepsis tessulata* (O.F. Muller, 1774), *Helobdella stagnalis* (L., 1758), *Haemopsis sanguisuga* (L., 1758) and *Herpobdella octoculata* (L., 1758). The author shows the location of leeches in the aquatic ecosystems. It is found that their appearance in waters of the National Park “Prielbrusye” is mainly due to anthropogenic activities, particularly creation of artificial stagnant and partly stagnant reservoirs.

Key words: leeches, aquatic ecosystems, The National Park “Prielbrusye”, highlands

REFERENCES

- [1] Kamenev O.Yu. Quantitative assessment of bioresources of medicinal leeches on the territory of Krasnodar Krai. *Girudo-2006: proceedings of the IX scientific-practical conference of the Association of hirudologist Russia and CIS countries*. Edited by Professor I.P. Baskova. Balakovo, 2006. S. 80–83.
- [2] Kasimov A.G. *The Freshwater fauna of the Caucasus*. Baku: El-mi, 1972. 300 s.
- [3] Lukin E.I. The question of distribution of medicinal leech in the USSR. *Zool*. 1957. Vol. 36. Vol. 5. S. 658–668.
- [4] Lukin E.I. The fauna of leeches of the North Caucasus. The results of the hydrobiological expedition of the North Caucasus. *Trudy ZIN an SSSR*. 1959. 26. P. 354–359.
- [5] Lukin E.I. *Leeches of fresh and brackish waters. Fauna SSSR: Leeches*. Leningrad: Nauka, 1976. Vol. 1. 484 p.
- [6] Mikhailov S.V. The Distribution and biology of the medicinal leech (*Hirudo medicinalis* L.) in Krasnodar Krai. Autoref. diss. ... kand. biol. sciences. Stavropol, 2006. 22 p.
- [7] Sadovskii A.A. Bancomer — a new device for the quantitative collection of zoobenthos in mountain rivers. *MSG. An Cargo. SSR*, 1948. IX, 6. P. 365–368.
- [8] Terekhov P.A. *Leeches. Resources of the living fauna. Part 1. Aquatic animals*. Rostov: Rostov state University, 1980. P. 67–73.
- [9] Hatuhov A.M., Yakimov A.V. *Leech water reservoirs of Kabardino-Balkar Republic. Actual problems of biology and medicine*. Nalchik: Kabardino-Balkarian state University, 1999. P. 114–116.
- [10] Hatuhov A.M., Yakimov A.V., Baragunova E.A. *Leech of Kabardino-Balkaria. Methodical instructions*. Nalchik: Kabardino-Balkarian state University, 2001. 24 p.
- [11] Shapovalov M.I., Motorin A.A., Tkhabisimova A.U. *Leeches (Hirudinea) in the conditions of anthropogenic transformations of aquatic ecosystems of the Northwest Caucasus. Water: chemistry and ecology*. 2012. No. 4. P. 61–67.
- [12] Epstein V.M. *Class leeches. Keys to parasites of freshwater fish. Vol. 3.* (edited by O.N. Bauer). L., 1987. Pp. 340–372.

Article history:

Received: 11.10.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Yakimov A.V., Cherchesova S.K., L'vov V.D., Zalihanov K.H., Kojbaev B.G. (2017) *Leeches (Hirudinea) in aquatic ecosystems of national park "Prielbrusye"*. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 540–547. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-540-547

Bio Note:

Yakimov Andrey Vladimirovich — Cand. Sc. (Biology), Head of OP Kabardino-Balkarian Republican Division for Fisheries and Conservation of the Far Eastern Branch of the West Caspian Branch of the Glavrybvod FGBU, Senior Research Fellow of the National Park Prielbrusye. E-mail: yakimov_andrei@mail.ru

Cherchesova Susanna Konstantinovna — Doctor of Biological Sciences, Professor of the North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov. E-mail: cherchesova@yandex.ru

Lvov Vladimir Dmitrievich — chief fish farmer of the Chegem trout hatchery of the Glavrybvod branch of the FGBU.

Zalikhanov Kaplan Khasanovich — Candidate of Biological Sciences, Senior Research of the Federal State Institution "National Park 'Prielbrusye'".

Koybayev Boris Georgievich — post-graduate student of the North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov. E-mail: koibaevbg@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-548-561

УДК 628.54

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ ВО ФЛОТАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ С ЭЖЕКЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ АЭРАЦИИ С ДИСПЕРГАТОРОМ

Е.С. Антонова

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)
2-я Бауманская ул., 5, стр. 1, Москва, Россия, 105005

В работе рассмотрена проблема очистки сточных вод от нефтепродуктов. Показаны основные преимущества и недостатки эжекционной системы аэрации, используемой при флотационной очистке воды. Отмечена важность применения математического моделирования для определения продолжительности процесса флотации. Для интенсификации флотационной очистки нефтесодержащей сточной воды предложено использование флотатора с эжекционной системой аэрации с диспергатором. Предложена математическая модель флотации нефтепродуктов, учитывающая особенности дисперсного состава пузырьков, генерируемых предлагаемой системой аэрации, и проведена экспериментальная проверка ее адекватности. На лабораторной флотационной установке проведены эксперименты по определению дисперсного состава пузырьков и извлекаемых частиц нефтепродуктов, а также исследованию кинетики процесса очистки. При отсутствии диспергатора средний размер пузырьков составил около 500 мкм, при использовании диспергатора получено 2 группы со средними размерами 55 мкм и 105 мкм. Подтверждено, что применение предлагаемой математической модели возможно для описания процесса очистки воды от нефтепродуктов. Представлено сравнение эффективностей очистки воды от нефтепродуктов при использовании диспергатора и без него. Установлено, что применение диспергатора наиболее эффективно для извлечения частиц размером 15–35 мкм и позволяет повысить эффективность очистки с 75% до 90% по сравнению с обычной эжекционной системой аэрации.

Ключевые слова: флотация, эжектор, диспергатор, очистка сточных вод, нефтепродукты, математическое моделирование

Введение

Проблема очистки сточных вод от нефтепродуктов актуальна в настоящее время. Нефтепродукты относятся к наиболее распространенным видам загрязнений, которые присутствуют в большинстве сточных вод. Флотация широко используется для очистки сточных вод от гидрофобных загрязнений, к которым относятся и нефтепродукты [1; 2]. Повышение эффективности флотационного метода очистки воды при снижении капитальных и эксплуатационных затрат является важнейшей задачей. Использование эжекционной системы аэрации дает ряд преимуществ: простота, надежность, невысокие эксплуатационные затраты. Однако

у нее имеется существенный недостаток: генерирование крупных пузырьков размерами 500–1000 мкм, что не позволяет достигать высокой эффективности очистки от мелкодисперсных загрязнений [3–5]. Для устранения этого недостатка предлагается использование специального диспергатора, при контакте с которым пузырьки дробятся до размеров 30–300 мкм [6]. Еще одна важная задача состоит в определении продолжительности процесса очистки воды во флотаторе. Обычно при расчете рабочего объема флотационного аппарата продолжительность очистки принимают 20–30 мин согласно существующим рекомендациям [7]. Однако на это влияют множество параметров как системы аэрации (размеры пузырьков, интенсивность аэрации), так и загрязнений (степень гидрофобности, размеры частиц, плотность) [8; 9]. Применение математической модели, учитывающей характерные особенности определенного процесса флотации, позволяет более точно определить его продолжительность, что дает возможность проектировать установки, обладающие большей экономичностью и компактностью при достижении требуемой эффективности очистки. Существуют различные математические модели флотации, например, модель Белоглазова, модели с порядком, отличным от единицы, трехпараметрические модели [10–12]. Но наиболее полно флотация описывается многостадийной моделью, представленной в работе [7]. Данная модель учитывает все стадии флотационного процесса: образование флотокомплекса, его всплытие, а также обратимые процессы. Однако она не может быть применена для описания процесса во флотаторе с эжекционной системой аэрации с диспергатором, так как в ней не учитывается полимодальность распределения размеров пузырьков, генерируемых рассматриваемой системой аэрации [6].

Модель флотации с использованием эжекционной системы аэрации с диспергатором, учитывающая полимодальность распределения, в общем виде рассмотрена в работе [13]. С учетом определенных ранее характеристик системы аэрации в частном случае модель для флотации нефтепродуктов будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

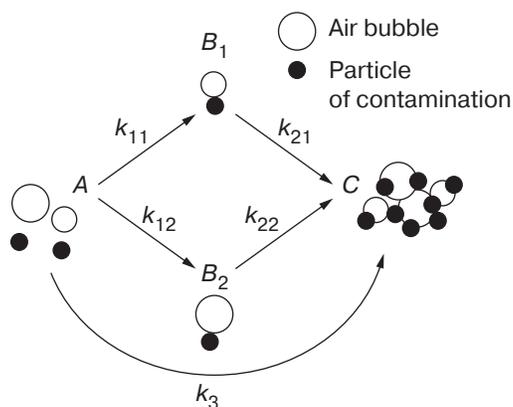
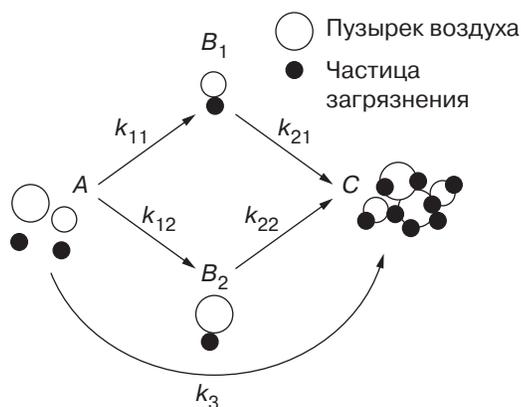


Рис. 1. Схема флотации нефтепродуктов:
A — исходное состояние; B₁, B₂, C — мелко
и крупнодисперсные пузырьки и пенный слой
соответственно; k₁₁, k₁₂, k₂₁, k₂₂, k₃ — константы

Fig. 1. Scheme of oil flotation

Процесс описывается системой дифференциальных уравнений (1) с начальными условиями (2)

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}C_A = -k_{11}C_A - k_{12}C_A - k_3C_A; \\ \frac{d}{dt}C_{B_1} = k_{11}C_A - k_{21}C_{B_1}; \\ \frac{d}{dt}C_{B_2} = k_{12}C_A - k_{22}C_{B_2}; \\ \frac{d}{dt}C_C = k_{21}C_{B_1} + k_{22}C_{B_2} + k_3C_A. \end{cases} \quad (1)$$

где $C_A, C_{B_1}, C_{B_2}, C_C$ — концентрации частиц в исходном состоянии A , состоянии флотокомплексов с мелко и крупнодисперсными пузырьками B_1, B_2 и в пенном слое C соответственно. Переходы между состояниями описываются константами $k_{11}, k_{12}, k_{21}, k_{22}, k_3$.

Начальные условия при $t = 0$:

$$\begin{aligned} C_A(0) &= C_{A_0}; \\ C_{B_1}(0) &= 0; \\ C_{B_2}(0) &= 0; \\ C_C(0) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Вероятность образования флотокомплексов с мелко и крупнодисперсными пузырьками характеризуется константами k_{11}, k_{12} , которые могут быть определены по формуле:

$$k_{11,12} = \frac{1,5q_{1,2}E_{1,2}}{k_{0,1,2}D_{1,2}}, \quad (3)$$

где $q_{1,2}$ — интенсивность аэрации для мелко и крупнодисперсных пузырьков, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $E_{1,2}$ — эффективность захвата частиц мелко и крупнодисперсными пузырьками, о.е.; $D_{1,2}$ — средний диаметр мелко и крупнодисперсных пузырьков, м; $k_{0,1,2}$ — фактор полидисперсности мелко и крупнодисперсных пузырьков, о.е.

Общая интенсивность аэрации q может быть определена как отношение расхода воздуха к площади поверхности воды во флотаторе. Интенсивность аэрации для мелко и крупнодисперсных пузырьков может быть определена исходя из определения доли воздуха, приходящегося на каждую группу пузырьков:

$$q_{1,2} = q \frac{D_{1,2}^3 \cdot n_{1,2}}{D_1^3 \cdot n_1 + D_2^3 \cdot n_2}, \quad (4)$$

где $n_{1,2}$ — доля мелко и крупнодисперсных пузырьков.

Эффективность захвата частиц и фактор полидисперсности определяются по зависимостям, приведенным в работах [14; 15].

Всплытие флотокомплексов с мелко и крупнодисперсными пузырьками характеризуется константами k_{31} , k_{32} , которые определяют по формуле:

$$k_{31,32} = \frac{v_{31,32}}{h}, \quad (5)$$

где $v_{31,32}$ — скорость всплытия флотокомплексов с мелко и крупнодисперсными пузырьками, м/с; h — высота уровня воды, м.

При этом скорость всплытия определялась по зависимостям, приведенным в работах [8; 9].

Константа, характеризующая самостоятельное всплытие частиц нефтепродуктов, определяется по формуле:

$$k_7 = \frac{v_{\text{вспл}}}{h}, \quad (6)$$

где $v_{\text{вспл}}$ — скорость всплытия частиц загрязнений, м/с.

Скорость всплытия частиц нефтепродуктов может быть приближенно определена по формуле

$$v_{\text{вспл}} = \frac{\bar{D}^2 g (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{ч}})}{18\mu}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, кг/м³; $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частиц загрязнений, кг/м³.

Материалы и методы

Эксперимент по исследованию флотационного извлечения нефтепродуктов разного дисперсного состава был проведен на установке (рис. 2). Для приготовления модельного стока использовалось моторное масло ($\rho_{\text{м}} = 920$ кг/м³), исходная концентрация нефтепродуктов в воде составляла 30–35 мг/л. В ходе эксперимента был определен дисперсный состав извлекаемых частиц и эффективность их извлечения при флотации с диспергатором и без диспергатора.

Процесс флотации осуществлялся следующим образом. Во флотационную камеру 3 помещалось 2 л исходной сточной воды. В течение 3 мин производилась аэрация воды, при этом вода подавалась насосом 2 из камеры 1. Расход рабочей жидкости на стадии аэрации составлял 20 л/ч, расход воздуха составлял 15 л/ч. По окончании аэрации объем воды в камере составил 3 л. Далее насос для подачи рабочей жидкости был отключен в целях создания в камере спокойной обстановки для всплытия флотокомплексов. Система для фиксирования капель нефтепродуктов и пузырьков состоит из емкости 8, в которую набиралась исследуемая жидкость, USB-микроскопа 9, подключенного к компьютеру 10, и источника света 7. Фиксирование капель нефтепродуктов и отбор проб для анализа проводились в исходный момент времени и далее каждые 5 мин.

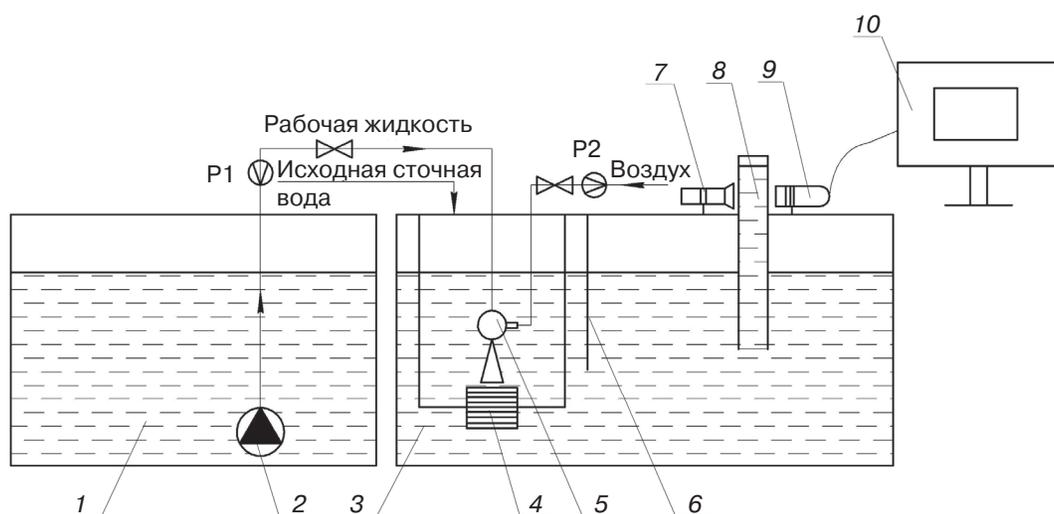


Рис. 2. Схема лабораторной установки:

1 — камера чистой воды; 2 — насос; 3 — флотационная камера; 4 — диспергатор; 5 — эжектор; 6 — перегородка; 7 — источник света; 8 — емкость; 9 — USB-микроскоп; 10 — компьютер

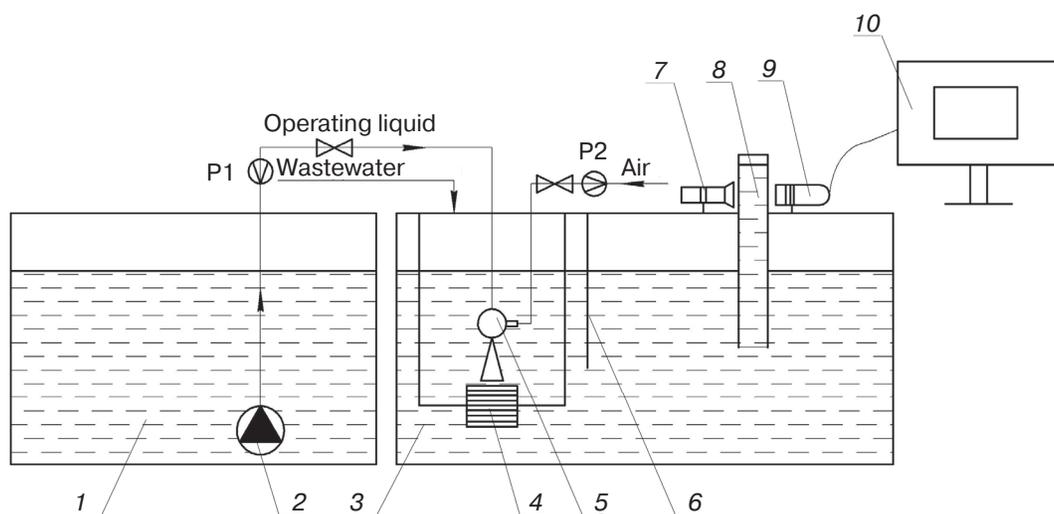


Fig. 2. Scheme of laboratory setup:

1 — chamber for clean water; 2 — pump; 3 — flotation chamber; 4 — disperser; 5 — ejector; 6 — semi-wall; 7 — source of light; 8 — container; 9 — USB-microscope; 10 — computer

В ходе эксперимента были измерены частицы нефтепродуктов с десяти фотографий для каждого случая. Так же были определены размеры пузырьков согласно методике, изложенной в работах [6; 16].

При статистической обработке результатов получены функции плотностей распределения частиц по размерам и данные о количестве частиц определенного размера. По полученным данным была определена продолжительность процесса

очистки и вычислены эффективности извлечения частиц каждой фракции по формуле

$$\eta_i = \frac{N_{0i} - N_i}{N_{0i}}, \quad (8)$$

где N_{0i} — количество измеренных частиц каждой фракции в исходной воде; N_i — количество измеренных частиц каждой фракции в очищенной воде.

Далее эффективности извлечения частиц каждой фракции были рассчитаны теоретически с использованием предлагаемой модели. По полученным результатам построены графики экспериментальной и теоретической зависимостей эффективности флотационного извлечения частиц нефтепродуктов от их размеров.

Общая эффективность очистки воды от нефтепродуктов была определена по формуле

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{0i} d_{\text{чи}}^3 - \sum_{i=1}^n N_i d_{\text{чи}}^3}{\sum_{i=1}^n N_{0i} d_{\text{чи}}^3}, \quad (9)$$

где $d_{\text{чи}}$ — средний диаметр частиц каждой фракции, мкм.

Далее было произведено сравнение эффективностей флотационного извлечения частиц различного размера без диспергатора и при его использовании.

Так же была определена концентрация нефтепродуктов в отобранных пробах и построена теоретическая кривая их извлечения. При расчете констант был использован среднеобъемный диаметр частиц нефтепродуктов, определенный по формуле:

$$d_{\text{ч}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n N_i d_{\text{чи}}^3}{N}}, \quad (10)$$

где N — общее количество частиц.

Результаты и обсуждение

Функции плотностей распределения частиц нефтепродуктов по размерам для моторного масла при флотации с использованием диспергатора и без него представлены на рисунке 3. При флотации с использованием эжекционной системой аэрации с диспергатором продолжительность очистки воды составило 25 мин. После этого времени функция плотности распределения изменялась незначительно. Важно отметить, что при флотации без диспергатора за 25 мин получена функция плотности распределения, близкая к функции плотности распределения при флотации с диспергатором за 5 мин.

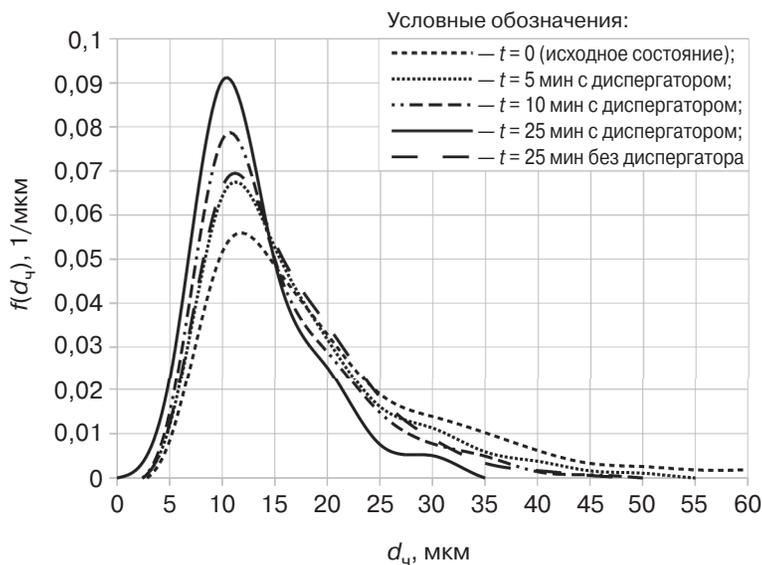


Рис. 3. Функции плотности распределения частиц моторного масла по размерам

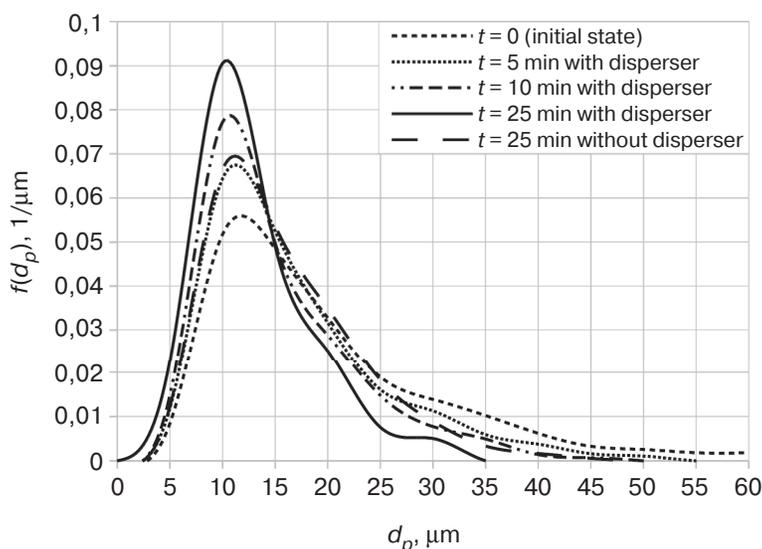


Fig. 3. Probability density function of motor oil particles size

При использовании диспергатора было выделено две группы пузырьков со следующими характеристиками: средний диаметр первой группы пузырьков составляет 55 мкм со среднеквадратическим отклонением 18 мкм, доля пузырьков составляет 66%; средний диаметр второй группы пузырьков — 105 мкм со среднеквадратическим отклонением 15 мкм (28%), доля пузырьков — 15 мкм; доля пузырьков с диаметрами 105—300 мкм составила около 6%. Данная часть спектра не является значимой и при описании процесса не учитывалась. При отсутствии диспергатора наблюдалось выделение пузырьков в диапазоне 100—1000 мкм со средним диаметром 500 мкм.

Параметры, необходимые для расчета констант, и константы определены по формулам (3)—(7). Экспериментальные эффективности извлечения определены по формуле (8), теоретические — по решению системы дифференциальных уравнений (1). Теоретическая зависимость и экспериментальные результаты эффективности извлечения от диаметра капель моторного масла при разной продолжительности флотации представлены на рисунке 4. Для времени окончания процесса (25 мин) на рисунке 5 показано сравнение эффективностей извлечения частиц при использовании диспергатора и при его отсутствии. Максимальный эффект диспергатора наблюдается при извлечении частиц размерами 15—35 мкм.

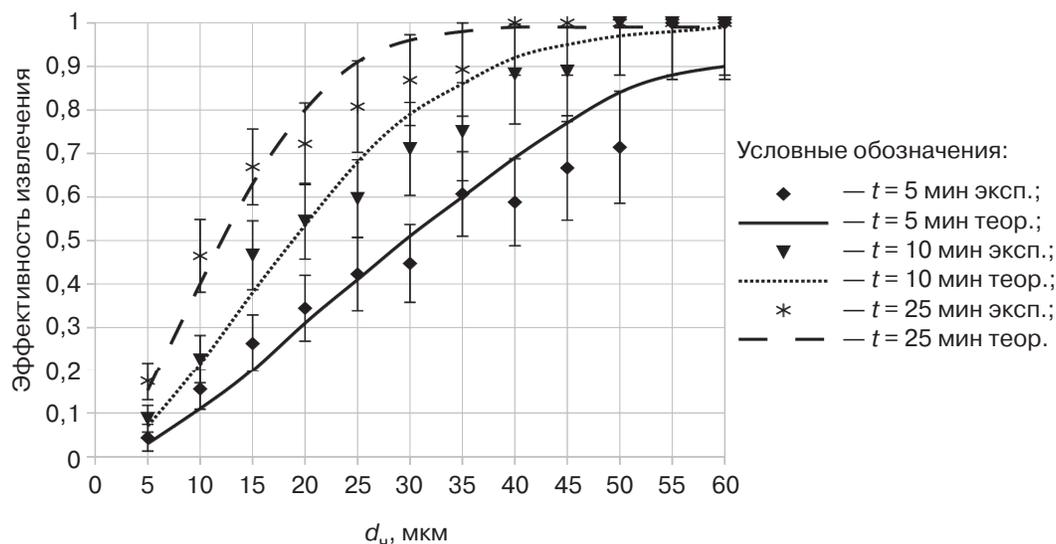


Рис. 4. Теоретическая и экспериментальная зависимости эффективности извлечения частиц моторного масла от диаметра частиц при разной продолжительности флотации

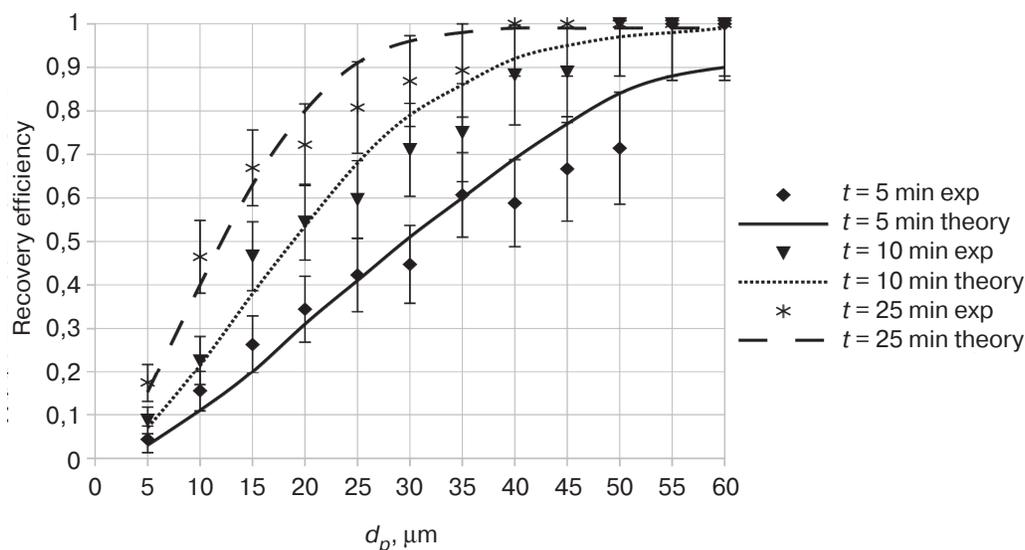


Fig. 4. Theoretical and experimental dependence of recovery of motor oil particles on particles size for different time of flotation

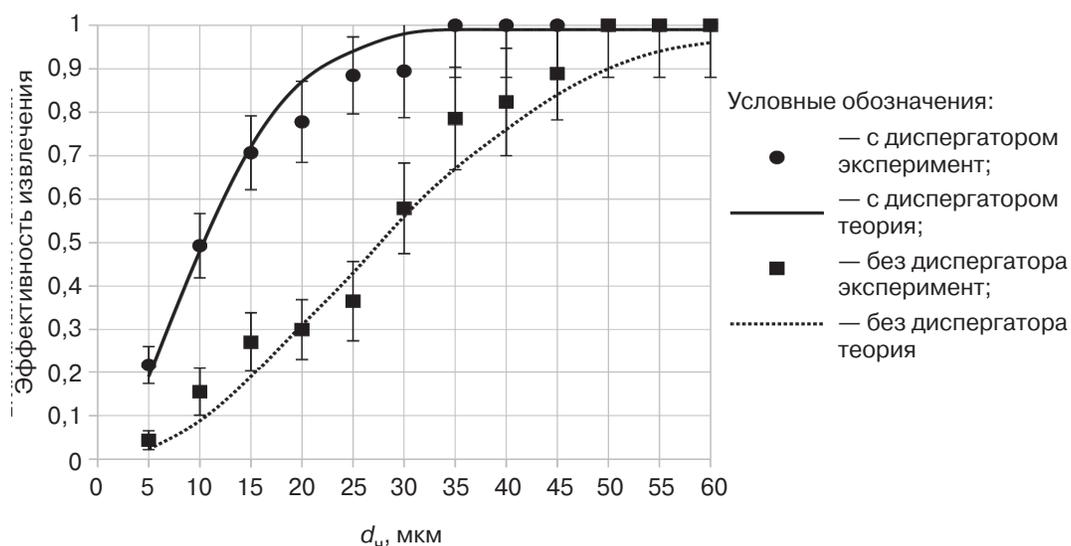


Рис. 5. Теоретическая и экспериментальная зависимости эффективности извлечения частиц моторного масла от диаметра частиц при продолжительности флотации 25 мин с диспергатором и без диспергатора

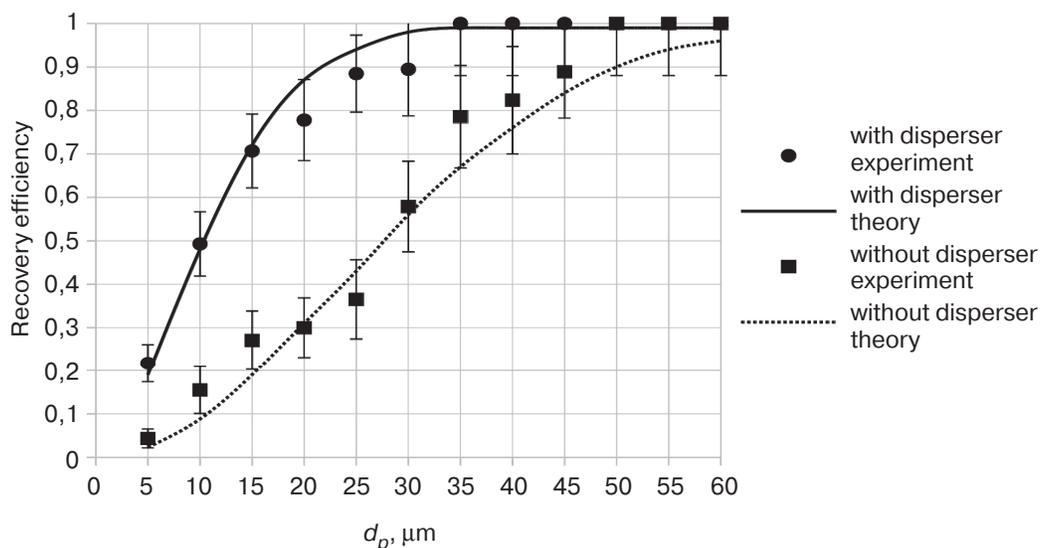


Fig. 5. Theoretical and experimental dependence of recovery of motor oil particles on particles size for the time of flotation 25 minutes with and without disperser

Общая эффективность извлечения моторного масла рассчитана по формуле (9). За 25 мин она составила 93%. Эффективность очистки воды при флотации без диспергатора за 25 мин составила 73%.

Далее был произведен расчет, в результате которого была получена теоретическая кривая извлечения моторного масла. Диаметр частиц, используемый для расчета констант, был определен по формуле (10) и составил $d_q = 25$ мкм.

Теоретическая зависимость и экспериментально полученные результаты при флотации с использованием диспергатора представлены на рисунке 6.

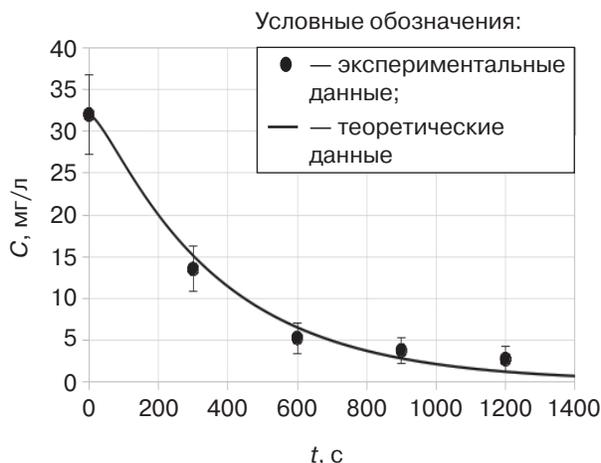


Рис. 6. Теоретическая и экспериментальная зависимости изменения концентрации моторного масла от времени

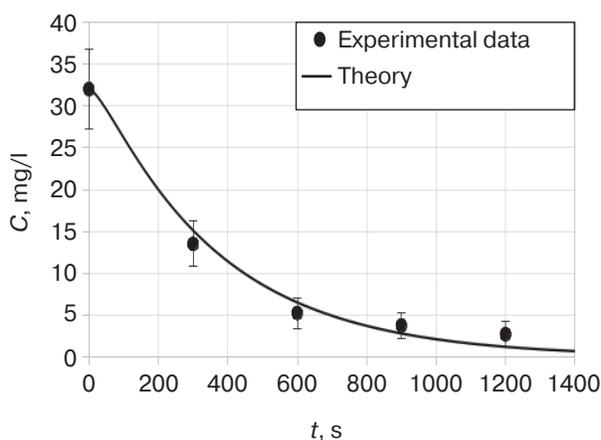


Fig. 6. Theoretical and experimental dependence of oil concentration change on time

Эффективность очистки, рассчитанная по измеренным концентрациям, при флотации с диспергатором составила 91%, а без диспергатора — 75%. Результаты, полученные при расчете эффективности по формуле (9) и по данным, представленным на рисунке 6, не противоречат друг другу. Из представленного сравнения теоретических и экспериментальных результатов (рис. 4–6) видно, что результаты эксперимента в пределах погрешности, которая с вероятностью 0,9 не превышала 15%, совпадают с теоретической кривой. Следовательно, предлагаемая теоретическая модель не противоречит эксперименту и может быть использована для описания процесса очистки воды в предлагаемой установке при заданных условиях.

Далее было проведено сравнение концентраций нефтепродуктов в исходной сточной воде и в очищенной — после флотации при отсутствии и наличии дис-

пергатора. Концентрация нефтепродуктов в исходной воде составляла 32 мг/л, в очищенной после флотации с использованием диспергатора — 2,7 мг/л, в очищенной после флотации без использования диспергатора — 8 мг/л. Таким образом, применение диспергатора позволило повысить эффективность очистки воды от моторного масла примерно с 75 до 90%.

Выводы

В работе теоретически показана и экспериментально подтверждена возможность описания процесса очистки нефтесодержащей сточной воды во флотационной установке с эжекционной системой аэрации с диспергатором на основе многостадийной модели флотации с учетом разделения пузырьков на несколько групп. Предлагаемая математическая модель может быть использована для определения эффективности извлечения и продолжительности процесса очистки воды от нефтепродуктов разного дисперсного состава. Экспериментально определен диапазон размеров частиц нефтепродуктов, составляющий 15—35 мкм, для извлечения которых применение диспергатора наиболее эффективно. Проведенные исследования показали, что применение диспергатора позволяет повысить эффективность очистки при заданном времени с 75% до 90% по сравнению с обычной эжекционной системой аэрации либо сократить продолжительность очистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Алексеев Д.В., Николаев Н.А., Лантев А.Г. Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации. Казань: КГТУ, 2005. 156 с.
- [2] Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод: аналит. обзор / СО РАН ГПНТБ, НИОХ. Новосибирск, 1992. 72 с.
- [3] Воронов Ю.В., Казаков В.Д., Толстой М.Ю. Струйная аэрация. Научное издание. М.: Изд-во «Ассоциации строительных вузов», 2007. 216 с.
- [4] Grinis L., Lubashevsky N., Ostrovski Y. Influence of the flow rate ratio in a jet pump on the size of air bubbles // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. 2015. Vol. 7. P. 1161—1164.
- [5] Mandal A. Characterization of gas-liquid parameters in a down-flow jet loop bubble column // Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2010. Vol. 27. No. 2. P. 253—264. DOI: 10.1590/S0104-66322010000200004
- [6] Ксенофонтов Б.С., Антонова Е.С. Исследование дисперсного состава водовоздушной смеси, генерируемой эжекционной системой аэрации, в процессе флотационной очистки сточной воды // Безопасность в техносфере. 2016. Т. 5. № 4. С. 38—44. DOI: 10.12737/23760
- [7] Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
- [8] Shawwa A.R., Smith D.W. Dissolved air flotation model for drinking water treatment // Canadian Journal of Civil Engineering. 2000. Vol. 27. No. 2. P. 373—382. DOI: 10.1139/199-071
- [9] Edzwald J.K. Developments of high rate dissolved air flotation for drinking water treatment // Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA. 2007. Vol. 56. No. 6-7. P. 399—409. DOI: 10.2166/aqua.2007.013
- [10] Рубинштейн Ю.В. Кинетика флотации. М.: Недра, 1980. 374 с.
- [11] Polat M. and Chander S. First order flotation kinetics models and methods for estimation of the true distribution of flotation rate constant // International Journal of Mineral Processing. 2000; 58: 145—166. DOI: 10.1016/s0301-7516(99)00069-1

- [12] *Yianatos J.B.* Fluid flow and kinetic modelling in flotation related processes: Columns and mechanically agitated cells-a review // *Chemical Engineering Research and Design*. 2007. 85(A12): P. 1591—1603. DOI: 10.1016/s0263-8762(07)73204-5
- [13] *Антонова Е.С.* Моделирование процесса очистки сточных вод во флотационной установке с эжекционной системой аэрации с диспергатором // *Безопасность в техносфере*. 2017. Т. 6. № 1. С. 43—50. DOI: 10.12737/article_590199b9952dc2.23575176
- [14] *Москвичева Е.В., Москвичева А.В., Игнаткина Д.О., Сидякин П.А., Щитов Д.В.* Кинетическая модель флотации с использованием смешанного реагента на основе отхода производства // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2015. № 40. С. 45—57.
- [15] *Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулев Н.Н.* Микрофлотация: водоочистка, обогащение. М.: Химия, 1986. 112 с.
- [16] *Rodrigues R.T., Rubio J.* New basis for measuring the size distribution of bubbles // *Minerals Engineering*. 2003. No. 16 (8). P. 757—765. DOI: 10.1016/s0892-6875(03)00181-x

© Антонова Е.С., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 29.11.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Антонова Е.С. Исследование процесса очистки воды от нефтепродуктов во флотационной установке с эжекционной системой аэрации с диспергатором // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 4. С. 548—561. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-548-561

Сведения об авторе:

Антонова Екатерина Сергеевна — аспирант кафедры экологии и промышленной безопасности Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). E-mail: kotant@mail.ru

INVESTIGATION OF OILY WASTEWATER TREATMENT PROCESS IN A FLOTATION SET UP WITH EJECTION SYSTEM OF AERATION WITH DISPERSER

E.S. Antonova

Bauman Moscow State Technical University
2-nd Baumanskaia str., 5, Build. 1, Moscow, Russia, 105005

The problem of oily wastewater treatment is considered. The main advantages and disadvantages of ejection system of aeration used for flotation treatment are presented. The importance of the use of mathematical model for the flotation time definition is pointed out. The use of ejection system of aeration with disperser is offered for the intensification of flotation oily wastewater treatment is offered. The mathematical model considering peculiarities of bubble characteristic is developed and experimentally verified. The experiments on a laboratory set up devoted to the investigation of the particles disperse characteristics and kinetics of the treatment were carried out. The bubble size without

dispenser was about 500 μm , while the use of dispenser allows to generate two groups of bubbles with size 55 μm and 105 μm . The experiments showed that the use of the model is possible for the description of the treatment process. The comparison of flotation water treatment efficiencies with and without dispenser is presented. The use of dispenser is mostly effective for the separation of particles with size 15—35 μm and allows to increase treatment efficiency from 75% to 90%.

Key words: flotation, ejector, dispenser, wastewater treatment, oil, mathematical model

REFERENCES

- [1] Alekseev D.V., Nikolaev N.A., Laptev A.G. Kompleksnaya ochistka stokov promyshlennykh predpriyatii metodom struinoi flotatsii [Complex wastewater treatment of industrial plants by jet flotation]. Kazan: KGTU, 2005. 156 p. (in Russ.).
- [2] Kuzubova L.I., Morozov S.V. Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod: Analit. Obzor [Oily wastewater treatment. Analytical review]. SO RAN GPNTB, NIOKh. Novosibirsk, 1992. 72 p. (in Russ.).
- [3] Voronov Yu.V., Kazakov V.D., Tolstoy M.Yu. Struinaya aeratsiya. Nauchnoe izdanie [Jet aeration]. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2007. 216 p. (in Russ.).
- [4] Grinis L., Lubashevsky N., Ostrovski Y. Influence of the flow rate ratio in a jet pump on the size of air bubbles. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. 2015. Vol. 9. No. 7. P. 1161—1164.
- [5] Mandal A. Characterization of gas-liquid parameters in a down-flow jet loop bubble column. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2010. Vol. 27. No. 2. P. 253—264. DOI: 10.1590/S0104-66322010000200004
- [6] Ksenofontov B.S., Antonova E.S. Research of disperse composition of air-and-water mix generated by ejector aeration system during wastewater flotation treatment. Bezopasnost' v tekhnosfere. 2016. Vol. 5. No. 4. P. 38—44. DOI: 10.12737/23760 (in Russ.).
- [7] Ksenofontov B.S. Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy [Flotation treatment of water, waste and soil]. Moscow: Noyve tekhnologii, 2010. 272 p. (in Russ.).
- [8] Shawwa A.R., Smith D.W. Dissolved air flotation model for drinking water treatment. Canadian Journal of Civil Engineering. 2000. Vol. 27. No. 2. P. 373—382. DOI: 10.1139/199-071
- [9] Edzwald J.K. Developments of high rate dissolved air flotation for drinking water treatment. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA. 2007. Vol. 56. No. 6-7. P. 399—409. DOI: 10.2166/aqua.2007.013
- [10] Rubinshtein Yu.V. Kinetika flotatsii [Flotation kinetics]. Moscow: Nedra, 1980. 374 p. (in Russ.).
- [11] Polat M. and Chander S. First order flotation kinetics models and methods for estimation of the true distribution of flotation rate constant. International Journal of Mineral Processing. 2000. Vol. 58. P. 145—166. DOI: 10.1016/s0301-7516(99)00069-1
- [12] Yianatos J.B. Fluid flow and kinetic modelling in flotation related processes: Columns and mechanically agitated cells—a review. Chemical Engineering Research and Design. 2007. 85(A12): P. 1591—1603. DOI: 10.1016/s0263-8762(07)73204-5
- [13] Antonova E.S. Modeling of wastewater treatment process in a flotation setup with ejection aeration system having a dispenser. Bezopasnost' v tekhnosfere. 2017. Vol. 6. No. 1. P. 43—50. DOI: 10.12737/article_590199b9952dc2.23575176 (in Russ.).
- [14] Moskvicheva E.V., Moskvicheva A.V., Ignatkina D.O., Sidyakin P.A., Shchitov D.V. Kinetic model of flotation using a mixed reagent on the basis of production waste. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2015. No. 40. P. 45—57. (in Russ.).
- [15] Deryagin B.V., Dukhin S.S., Rulev N.N. Mikroflotatsiya: Vodoochistka, obogashchenie [Microflotation: Water treatment, concentration]. Moscow: Khimiya, 1986. 112 p. (in Russ.).
- [16] Rodrigues R.T., Rubio J. New basis for measuring the size distribution of bubbles. Minerals Engineering. 2003. No. 16 (8). P. 757—765. DOI: 10.1016/s0892-6875(03)00181-x

Article history:

Received: 29.11.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Antonova E.S. (2017) Investigation of oily wastewater treatment process in a flotation set up with ejection system of aeration with disperser. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 548–561. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-548-561

Bio Note:

Antonova Ekaterina Sergeevna — postgraduate student of Ecology and industrial safety department, Bauman Moscow State Technical University. E-mail: kotant@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-562-584

УДК 504.03: 504.05

ПРОЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАМПУСА РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ

А.П. Хаустов, М.М. Редина, А.М. Алейникова, Р.Х. Мамаджанов, П.Ю. Силаева

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Обосновываются основные задачи и содержание экологического мониторинга кампуса РУДН. Вуз представляет результаты своей работы в ежегодном международном рейтинге Green Metric World University Ranking. РУДН успешно стартовал в рейтинге в 2015 г., а с 2017 г. является национальным координатором этой программы в России. Кампус находится в зоне интенсивной автомобильной транспортной нагрузки, поэтому разработанная программа экологического мониторинга учитывает эту специфику. Приводятся сведения о команде, выполняющей проект, и о наличии приборной базы, необходимой для его выполнения. Сеть мониторинга охватывает различные функциональные зоны кампуса, а также прилегающую лесопарковую зону, выбранную в качестве фоновой. В результате обработки массивов данных по характеристикам окружающей среды кампуса были рассчитаны уровни антропогенной нагрузки для функциональных его зон. В дальнейшем по мере накопления информации границы функциональных зон и техногенных нагрузок будут корректироваться (как и содержание мониторинга). Проведены расчеты выбросов различного вида автотранспорта по одной из магистралей, замеры радиационной обстановки, уровня шума, типовых загрязнителей автомобильных выбросов в атмосферу в различные периоды года. Выполнена геохимическая съемка снегового покрова в целях оценки накопления полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Построены карты загрязнения атмосферы и снегового покрова, оценены значения превышения нормативных показателей, проведено обследование состояния растительности в начале и конце вегетационного периода. Полученные данные свидетельствуют об относительно благополучной экологической обстановке на территории кампуса и необходимости дальнейшего проведения мониторинга с помощью более высокоточных аналитических методов анализа природных сред, а также разработке моделей для прогноза изменения компонентов экосистемы кампуса. Такие модели позволят выявить тренд поведения на основе биоиндикации загрязнений (ландшафтно-деструктивных изменений) в условиях специфических воздействий сжигаемых нефтепродуктов и другими видами городского загрязнения. Планируется проведение инвентаризации и паспортизации зеленых насаждений кампуса с последующей объектно-ориентированной оценкой растительности, состояния почв в условиях меняющихся потоков атмосферных загрязнений и эмиссий автомобильного транспорта. В качестве инструмента предложено создание информационно-аналитической системы.

Ключевые слова: РУДН, кампус, мониторинг, загрязнение, транспорт, модели, нефтепродукты, атмосфера, снег, почвы, растительность

Введение

В 1992 г. РУДН стал одним из первых университетов России, где был организован экологический факультет. За прошедшие 25 лет выпущено более 2 тыс.

высококвалифицированных специалистов. Преподаватели и студенты факультета — лидеры в продвижении экологической культуры, новых методов исследований окружающей среды. Коллективом факультета реализованы исследовательские и образовательные проекты по широкому спектру вопросов современной экологии, природопользования, смежных областей. Реализуются инициативные проекты по раздельному сбору отходов на территории кампуса, сформировались профессиональные студенческие объединения экологической направленности. Подготовка экологов осуществляется на всех уровнях высшего образования: в бакалавриате это направления «Экология и природопользование» и «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», в магистратуре — практико-ориентированные программы в рамках направлений «Экология и природопользование» и «Экономика», а в аспирантуре — «Экология» и «Геоэкология». Ежегодно на факультете обучаются специалисты из не менее чем 15 стран мира. Действуют программы по обмену студентами и проведению стажировок с ведущими государственными вузами Казахстана, Таджикистана, Мексики, Панамы, Китая, Италии.

Помимо реализации образовательных программ и исследовательских проектов значительное внимание в РУДН уделяется продвижению экологической культуры. Университет формирует у будущих экологов (как и представителей других специальностей) представление об экологичности, бережном отношении к природе, возможностях каждого обеспечить на своем уровне устойчивое развитие [2; 9].

Обоснование проекта

РУДН — участник движения зеленых университетов. Современные университеты помимо своей роли центров образования и исследований служат площадками для развития и реализации идей устойчивого развития. Экологичность, ресурсосбережение требуют инновационных подходов, которые в первую очередь должны формироваться именно в образовательных центрах. Поэтому обосновано, что наряду с известными рейтингами эффективности образования и исследований был создан рейтинг экологичности Green Metrics World University Ranking [11]. Его разработчики — представители Университета Индонезии. Основанная Университетом Индонезии Международная партнерская сеть вузов, уделяющих самое пристальное внимание проблемам окружающей среды, объединяет более 600 университетов по всему миру. Вузы представляют результаты своей работы в ежегодном рейтинге. РУДН успешно стартовал в рейтинге в 2015 г., уже в 2016 г. занял 115 место в мире, а в 2017 занимает уже 44-ю строчку рейтинга и является национальным координатором этой программы в России.

Отметим, что вопросы устойчивого развития городов по праву — объекты пристального внимания международных организаций. В частности, это программы ООН Хабитат и ЮНЕП [1]. В этой связи, для территории кампуса, расположенной в черте города, важно осуществлять грамотное управление и поддерживать ее оптимальное состояние.

РУДН — первый вуз, лидер в России, присоединившийся к международному движению зеленых университетов. Несмотря на очень серьезное улучшение по-

казателей РУДН по сравнению с первым годом участия, необходимы новые шаги, развитие новых направлений деятельности, связанных с охраной окружающей среды. Это требует системного подхода к оценке состояния университета с позиций рационального природопользования, в частности — анализа материальных потоков внутри университета и проведение экологического мониторинга территории вуза [7; 10].

Обзор положения с организацией экологического мониторинга и на этой основе разработки дизайнов растительности кампусов ведущих университетов мира указывает на то, что РУДН может завоевать лидирующие позиции в этом направлении. Кроме того, это дает положительный эффект для подготовки специалистов по экологическим специализациям в условиях мегаполисов.

В связи с этим инициативной группой был предложен *проект по экологическому мониторингу кампуса* как основы для формирования экологической политики университета [10]. Проект объединяет эффекты создания практических навыков у студентов, развитие их экологической культуры и создание системы экологического менеджмента в университете. Как национальный координатор программы зеленых университетов, РУДН планирует активное распространение идей устойчивости в вузах России. Далеко не все вузы располагают такой инфраструктурой, как наш университет. Однако наличие озелененной территории — лишь часть условий для признания вуза экологичным. В связи с этим авторы планируют создать информационную систему по учету факторов экологической устойчивости и визуализации результатов оценки кампуса [6]. Это позволит разработать рекомендации по экологизации для других вузов, в частности — приблизить их к использованию стандартов оценки территорий с точки зрения зеленого строительства и других популярных за рубежом направлений строительства и эксплуатации зданий.

Цель мониторинга — обеспечить основу для принятия решений по устойчивому развитию университета, защите природного наследия на основе современных методов мониторинга и дизайна щадящими зелеными технологиями, снижающими последствия техногенеза в условиях мегаполиса.

Существующее положение. Российский университет дружбы народов — одно из немногих в России учебных заведений, располагающих современной кампусной инфраструктурой, что позволяет считать его максимально удобным учебным заведением для обучения и проживания студентов более чем из 150 стран мира. Во многом это обусловлено наличием, спортивных и культурных подразделений и, *главное* — *зеленой зоной кампуса и прилегающего Юго-западного лесопарка*. Службам озеленения университета удалось на протяжении двух десятков лет создать одну из красивейших и комфортных озелененных зон в г. Москве.

Территория кампуса — место «компактного проживания» и работы более 8 тыс. человек. Однако городская сеть мониторинга не позволяет получать детальную информацию о состоянии окружающей среды на территории кампуса, что требует построения собственной системы мониторинга, которая бы максимально учитывала локальные природные особенности и условия техногенной нагрузки.

Особенность создаваемой системы мониторинга — повышенное внимание состоянию зеленых насаждений и почв. Ряд постановлений правительства Мо-

сквы, начиная с 1996 г., призывает к организации мониторинга этой важнейшей компоненты экосистемы города. Современными нормативами рекомендуется не менее 16 м² озелененных территорий общего пользования на одного жителя. Для территорий вузов площадь озеленения должна составлять не менее 30–40%.

Зеленые насаждения и городские леса Москвы — неотъемлемая часть градостроительной структуры Москвы и важнейшая часть ее экологического каркаса. Они входят в систему жизнеобеспечения города как важнейший средообразующий и средозащитный факторы, обеспечивающие комфортность и качество среды обитания человека, и как обязательный элемент городского ландшафта. Растительность в городе выполняет многообразные полезные функции санитарно-гигиенического, почвозащитного и противозерозионного, водоохранного и климатотрегулирующего характера.

Зеленые зоны кампуса РУДН пока еще выполняют экологические и эстетические функции. Однако увеличивающийся техногенный пресс за счет роста и интенсивности движения автомобильного транспорта по Ленинскому проспекту, улицам Миклухо-Маклая, Опарина и Саморы Машела практически «сжал кольцо» постоянных вредных выбросов в атмосферу. Это не могло не сказаться на качестве атмосферы. В периоды неблагоприятных метеорологических условий происходит превышение воздуха по многим нормативам ПДК. Соответственно, из атмосферы происходит загрязнение почв, что приводит к угнетению и гибели растительных сообществ и живого мира. Отрывочные фенологические наблюдения и замеры концентраций вредных выбросов в воздухе подтверждают это.

Опыт Москвы указывает на то, что многие из высаживаемых зеленых насаждений не приспособлены к существующим экологическим условиям, поэтому им необходимо искать замену на более стойкие культуры. Сказанное требует проведения комплексных мониторинговых исследований по специально разработанной программе с построением моделей динамики во времени и пространстве компонентов экосистемы кампуса. Эти модели позволят выявить тренд поведения загрязнений на основе биоиндикации (ландшафтно-деструктивные изменения) в условиях специфических воздействий (модели поведения сжигаемых нефтепродуктов, хлорорганических соединений, металлов и др.).

Традиционно к числу воздействий на зеленые насаждения относятся [8]:

- повышенные уровни загрязнения воздуха, нарушение температурного и водного режимов воздуха и почвы;
- преобразование почвы под влиянием строительства зданий и сооружений и дорожной сети, изменение ее химических и физико-химических свойств, уплотнения в местах высокой рекреационной нагрузки;
- тепловое загрязнение, нарушение гидрологического режима почвы и развитие эрозионно-суффозионных процессов, вызванных неправильными хозяйственными мероприятиями и промышленной деятельностью;
- асфальтовое покрытие улиц и площадей (препятствие для нормального воздухо- и влагообмена в местах посадки и роста деревьев);
- наличие подземных коммуникаций и сооружений в зоне корневой системы деревьев;

— несовершенство технологий уборки снега и борьбы с оледенением; необоснованное применение хлоридов и складирование загрязненного хлоридами снега в местах произрастания растений;

— нарушение напочвенного травянистого покрова и его обеднение, следствием чего является снижение уровня численности энтомофагов и других представителей полезной энтомофауны в городских фитоценозах;

— освещение города в ночное время (как следствие — изменение поведения насекомых-фитофагов, их перераспределение и скопления в пределах зеленых насаждений и их возможное повреждение);

— механические повреждения корней, стволов и крон деревьев;

— нерегулярный уход за городскими зелеными насаждениями.

Таким образом, растительность выступает надежным индикатором экологического состояния и тепло- влагообеспеченности территорий и при всех модельных построениях природных сред и будет рассматриваться как интегральная компонента экосистемы.

Основные источники воздействия. К важнейшим источникам загрязнений относятся отработавшие газы ДВС, содержащие около 200 компонентов с периодом их существования от нескольких минут до в пределах 4—5 лет. Это и определяет состав и сроки экологического мониторинга.

Кроме загрязнения токсичными выхлопами, автотранспорт обуславливает поступление в окружающую среду резиновой пыли и летучих веществ — продуктов износа шин (выделяются вторичные амины и продукты термического распада ускорителей вулканизации, сульфенамиды) и асфальта. При взаимодействии с оксидами азота сульфенамиды способны трансформироваться в канцерогенные N-нитрозамины (N-нитрозодиметиламин, N-нитрозодиэтиламин, N-нитрозодибутиламин, N-нитрозоморфолин). По данным работы [4], их содержание в протекторных резинах изменяется от 2,1 до 34,9 мкг/кг, а в летучих продуктах (с учетом влияния поверхности и вторичных реакций образования) может превышать ПДК для N-нитрозаминов, в воздухе населенных мест — 50 нг/м³. По предварительной оценке, вклад шин в образование N-нитрозаминов составляет 35—40% и сопоставим с вкладом выхлопных газов.

Как источник шумовой нагрузки транспорт также играет ведущую роль. Для территории кампуса университета это особенно актуально в связи близостью крупной магистрали (Ленинский проспект) и интенсивным движением транспорта по трассам, граничащим с территорией университета и непосредственно проходящим по ней. В связи с этим, контроль шумовой нагрузки также является приоритетным.

Возможности реализации проекта

РУДН обладает необходимой структурой учебных подразделений, способных максимально эффективно обеспечить реализацию проекта по мониторингу: экологический факультет (кафедры прикладной экологии, геоэкологии, экологического мониторинга, системной экологии и др., передвижная экологическая лаборатория, стационарные приборы, вспомогательное оборудование и др.); аграрно-

технологический институт (в частности, департаменты ландшафтного проектирования и устойчивых экосистем и техносферной безопасности); инженерная академия (департамент архитектуры и строительства); факультет физико-математических и естественных наук с химико-аналитическими центрами.

На первом этапе проекта работы проводятся силами коллектива экологического факультета. Лаборатория экологической безопасности экологического факультета РУДН может выполнять следующие виды работ с определением характеристик и параметров: поиск источников радиационного излучения, расчет и измерение дозовой нагрузки и радиационного риска на население и персонал, измерение концентраций радионуклидов в почве, воздухе, воде; измерение концентрации цезия-137 и других радиоизотопов в организме человека; измерение шума от автотранспорта (в том числе на рабочих местах); измерения вибрации, освещенности, напряженности электромагнитного поля, статического электрического поля, теплового поля, климатических факторов, химического состава воздуха; измерение внутренней структуры (плотности и влажности) древесины и древесных изделий.

Получение информации о состоянии сред проводится с применением современного аналитического оборудования: спектрометрический комплекс «МУЛЬТИРАД» (детектор бета-излучения, детектор гамма-излучения); портативный спектрометр типа СКС-99 «Спутник» (детектор альфа-бета-излучения, детектор гамма-излучения, детектор нейтронного излучения); поисковый дозиметр-радиометр МКС/СРП-08А и дозиметр-радиометр ДКГ-08А «Скаут», радиометры радона РРА-01М-03 и РАА-3-01 «АльфаАЭРО»; газоанализатор типа ГАНК-4 АР, шумомеры, приборы для измерения параметров электромагнитного поля (ВЕ-метр), статического электрического поля (СТ-01), измерения вибрации; люксметр-яркомер, приборы для измерения параметров микроклимата, концентрации аэроионов МАС-01; импульсный томограф «АРБОТОМ», тепловизор “SDS HotFind-D”.

Также имеются возможности для проведения инструментального контроля сред на территории университета совместно с центрами коллективного пользования «Физико-химические исследования новых материалов, веществ и каталитических систем» и Центра прецизионных инструментальных методов анализа («ПРИМА») ЦКП (НОЦ) РУДН. В частности, это спектрометрическое оборудование (жидкостной хроматомасс-спектрометр Shimadzu LSMS-8040, хроматомасс-спектрометр ThermoFocus DSQII, спектрометр атомно-абсорбционный Shimadzu AA-7000, комплекс аппаратно-программный на базе хроматографа Хроматек-Кристалл 5000М, ИК фурье-спектрометр Nicolet 6700 и др.).

Команда проекта: студенты разных курсов экологического факультета, специалисты аналитики и энтузиасты. Научное руководство — ведущие преподаватели РУДН

Состав, сроки и методы реализации проекта исследований. Реализация проектных исследований началась в марте 2017 г. силами инициативной группы студентов и аспирантов под руководством преподавателей экологического факультета и сотрудников Центра коллективного пользования.

Построение системы мониторинга: виды контроля и обоснование параметров наблюдений

Мониторинг (систематические наблюдения) — процесс систематического или непрерывного сбора информации о параметрах сложного объекта. Обычно под мониторингом понимается сбор информации, которая используется в процессе принятия решения, а также, косвенно, для информирования общественности об изменении свойств наблюдаемого объекта. Только лишь сбор информации об объекте, например, с научно-исследовательскими целями, нельзя назвать мониторингом. Так, разовые определения концентраций в атмосферном воздухе при оценках влияния выбросов автотранспорта недостаточны; без оценок их динамики и пространственного распределения принятие управленческих решений мало обосновано [5].

В состав работ по мониторингу кампуса входят стационарные и маршрутные (рекогносцировочные и режимные) наблюдения, проводимые на территории кампуса с искусственным озеленением и в прилегающем Юго-западном лесопарке с относительно естественным лесным покрытием со сложившимся режимом взаимодействия компонентов экосистемы.

Стационарные наблюдения проводятся на выбранных по данным маршрутно-рекогносцировочных работ. Территориально это фенологические площадки в различных частях кампуса, дополненные наблюдениями за состоянием воздуха, солнечной радиации, шума, животного мира, потоками тепла из искусственных источников, интенсивностью движения автотранспорта с расчетами объемов выбросов и др. Кроме этого, с помощью камер наблюдений будут произведены количественные оценки интенсивности движения автотранспорта и количество выбросов вредных веществ на Ленинском проспекте, улицах Миклухо-Маклая, Опарина и Саморы Машела. Такие оценки будут проводиться ежегодно с суточными наблюдениями в различные сезоны с учетом климатических ситуаций.

Маршрутные исследования включают непосредственные замеры состояния в точках кампуса по нескольким профилям для оценки и фиксации параметров наблюдений в точках, обоснования выбора стационарных площадок, картографических построений состояния сред (снежного покрова, воздуха, почв, растительности, радиационного режима, инсоляции, потоков тепла из почв, замеров шума и др.).

Замеры проводятся в соответствии с действующими нормативными документами для обеспечения возможности привязки полученных эмпирических данных к существующим пунктам наблюдений. Кроме этого, полигон будет местом проведения замеров и приложения не стандартных методик оценок состояния сред в целях сопоставления с традиционными методами. На полигонах кампуса планируется проведение лабораторных и полевых практик студентов, а также рабочих встреч специалистов в рамках международного сотрудничества РУДН.

Метеорологические наблюдения включают количественные измерения метеорологических величин (атмосферное давление, температура воздуха и характеристики влажности, скорость и направление ветра, количество осадков, потоки тепла и лучистой энергии, количество облаков и высота их нижней границы,

метеорологическая дальность видимости, толщина гололедных или смешанных отложений и изморози) и регистрацию атмосферных явлений. К ним присоединяются величины, непосредственно не отражающие свойства атмосферы или атмосферных процессов, но тесно связанные с ними: температура поверхности почвы, высота снежного покрова и продолжительность его залегания, длительность солнечного сияния.

Химический состав воздуха определяется отбором проб с помощью респираторов и в реальном масштабе времени (быстродействие лучше 10 мс для приборов, работающих в УФ области спектра, и лучше 80 мс для приборов, работающих в ИК области спектра) для 25 и более газовых компонентов (NO, NO₂, NH₃, ВТХ, SO₂, CO, CO₂, углеводороды и др.) по мере того как автомобили пересекают оптическую трассу перпендикулярную их пути следования. Особое внимание будет уделено концентрации пыли размером PM₁₀, PM_{2,5} на которых интенсивно сорбируются ПАУ и другие загрязнители. К стационарным пунктам будет привязываться информация разовых съемок с различными интервалами осреднения.

Снегомерная геохимическая съемка. Снеговой покров — исключительно благоприятный объект при изучении загрязнения природной среды благодаря его высокой сорбционной способности. Химический состав снегового покрова формируется под влиянием поступления различных примесей вместе с выпадающими атмосферными осадками, поглощения снегом газов из воздуха и оседания из атмосферы твердых частиц, взаимодействия снегового покрова с земной поверхностью (почвенно-растительным покровом). Геохимическая информация сохраняется в снеговом покрове в течение всего периода снегостояния. Проведение геохимической съемки в течение нескольких зимних сезонов позволяет проследить динамику содержания отдельных компонентов в снеговом покрове. Сразу же после таяния и фильтрации определяется состав воды в соответствии с руководством «Унифицированные методы анализа воды». Определяются следующие ингредиенты: pH, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, нефтепродукты и другие мезо- и микрокомпоненты, специфические для выбросов автотранспорта. Результаты снегомерной съемки позволяют количественно оценить техногенную нагрузку на территорию кампуса и состав загрязнителей в зимнее время.

Радиационная съемка в целях выявления и оценки опасности источников внешнего гамма-излучения (определение мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения) включает, прежде всего, опробование почв и грунтов, строений для их экотоксикологической оценки как компонента окружающей среды, способного накапливать значительные количества загрязняющих веществ и оказывать непосредственное влияние на состояние здоровья населения. Опробование рекомендуется производить из поверхностного слоя методом «конверта» (смешанная проба на площади 20—25 м²) на глубину 0,0—0,30 м. Таких ключевых участков будет несколько на территории кампуса и вне его; последние будут считаться фоновыми.

Маршрутная гамма-съемка территории проводится с одновременным использованием поисковых гамма-радиометров (в режиме прослушивания звукового сигнала для обнаружения зон с повышенным гамма-фоном) и дозиметров (из-

мерения МЭД внешнего гамма-излучения в контрольных точках по сетке, шаг которой определяется в зависимости от масштаба съемки и местных условий).

Прочие физические параметры среды, которые контролируются на территории кампуса и в прилегающей зеленой зоне, включают шумовую нагрузку, напряженность электромагнитного поля, параметры теплового поля.

Системы экологического мониторинга развиты во многих современных городах. В частности, московская сеть стационарных постов мониторинга позволяет оценивать состояния сред по данным более чем трех десятков постов и передвижных лабораторий. Однако для обширной территории мегаполиса оценить особенности экологической обстановки определенных объектов бывает затруднительно, хотя их социальная значимость обуславливает потребность в информации. Дополнительные сложности возникают при необходимости оценок специфических загрязнений, например отдельных маркерных веществ, не включенных в городскую систему контроля. Это обуславливает необходимость организации специализированных обследований территорий.

Контроль химических загрязнений. Условно все физико-химические загрязнители территории кампуса РУДН для целей мониторинга разбиваются на следующие группы.

1. Малотоксичные вещества: кислород, водород, водяной пар, углекислый газ и другие естественные компоненты атмосферного воздуха. Акцентируется внимание на углекислом газе в связи с особой ролью в «парниковом эффекте», а также — на кислороде как продуценте растительности кампуса и прилегающих территорий.

2. Моноксид углерода — продукт неполного сгорания нефтяных видов топлива, который не имеет цвета и запаха, легче воздуха. Обладает выраженным отравляющим действием.

3. Оксиды азота, главным образом NO и NO₂. При обычных атмосферных условиях NO полностью превращается в NO₂. Для человека и растительности оксиды азота более вредны, чем угарный газ; общий характер воздействия меняется в зависимости от содержания различных оксидов азота. Оказывают отрицательное воздействие и на растительность, образуя на листовых пластинах растворы азотной и азотистой кислот. Этим же свойством обусловлено влияние оксидов азота на строительные материалы и металлические конструкции. Кроме того, они участвуют в фотохимической реакции образования смога.

4. Углеводороды (УВ). В результате неполного сгорания топлива в двигателе отработавшие газы содержат УВ различных гомологических рядов, всего около 160 компонентов. Особой канцерогенной активностью отличается ароматический углеводород бенз(а)пирен C₂₀H₁₂. Углеводороды под действием УФ-излучения вступают в реакцию с оксидами азота, в результате образуются новые токсичные продукты — фотооксиданты (основа смога; биологически активны, оказывают вредное воздействие на живые организмы, растительность, изделия, ускоряют коррозию металлов).

5. Альдегиды (формальдегид, акролеин и уксусный альдегид).

6. Сажа и другие дисперсные частицы (продукты износа двигателей, аэрозоли, масла, нагар и др.). Наибольший вред сажи — абсорбирование на ее поверхности

бенз(а)пирена и другие ПАУ, которые оказывает более сильное негативное воздействие на организм человека, чем в чистом виде.

7. Сернистые соединения (сернистый ангидрид, сероводород) — образуются при использовании топлив с повышенным содержанием серы.

8. Свинец и его соединения и другие металлы и металлоиды встречаются в отработавших газах карбюраторных автомобилей. В придорожном пространстве примерно 50% выбросов свинца в виде микрочастиц сразу распределяются на прилегающей поверхности. Остальное количество в течение нескольких часов находится в воздухе в виде аэрозолей, а затем также осаждаются на землю вблизи дорог. В настоящее время свинец не применяется, но его остаточные следы, как и других токсичных присадок, могут сохраняться длительное время в средах.

Особое внимание уделено контролю маркерных соединений — *полициклических ароматических углеводородов*. Эти соединения отличаются не только значительной токсичностью (вплоть до канцерогенных и мутагенных эффектов), но и стойкостью в окружающей среде. Многочисленными исследованиями подчеркивается важность контроля обширной группы ПАУ: рекомендации Агентства по охране окружающей среды включают 16 веществ, в Европе рекомендованы к контролю в средах четыре ПАУ; в России имеется норматив лишь для бенз(а)пирена, хотя в последние годы интерес к этим соединениям возрастает и в исследованиях все чаще демонстрируются закономерности распределения 16 УВ. Присутствие этих веществ маркирует влияние определенных техногенных или природных источников. Широко распространены методы идентификации источников загрязнений по индикаторным соотношениям ПАУ (хотя точность таких оценок не всегда достаточна).

Методы оценки состояния растительности. В качестве надежных индикаторов состояния лесов и состояния природной среды используют сумму признаков и интегральных показателей, характеризующих последовательно: 1) состояние деревьев, 2) состояние древостоев и других компонентов лесных биогеоценозов (экосистем), 3) лесных территорий и природно-территориальных комплексов разного ранга.

Состояние деревьев определяется по сумме биоморфологических признаков: густоте и цвету кроны, ее охвоенности (облиственности), определяемых по четырем или пяти градациям, цвету и поврежденность хвои (листвы), некрозами инфекционного и неинфекционного характера, членистоногими (насекомыми и клещами) и патогенами, относительным приростам побегов и ствола, возрасту сохраняющейся на побегах хвои (среднему и предельному), наличию сухих ветвей, состоянию коры и луба. На основании, дополняющих перечисленные показатели и признаков, устанавливается категория состояния дерева, являющаяся его интегральной характеристикой.

В большей степени проект предполагает наряду с перечисленными признаками использовать физико-химические показатели взаимодействия растительности в системе «атмосфера — почвы — влага — растительность» в целях выявления особенностей миграции загрязнителей, приводящих к гибели растений.

Обследования территории кампуса проводятся по 33 точкам, расположенным преимущественно по равномерной сетке. Измерения проводились с помощью

современных мобильных средств контроля качества окружающей среды для зон с относительно повышенной техногенной нагрузкой (вблизи автомагистралей), в условно фоновой зоне (парковая территория), в жилой зоне (общежития) и зоне расположения учебных и административных корпусов университета (рис. 1).

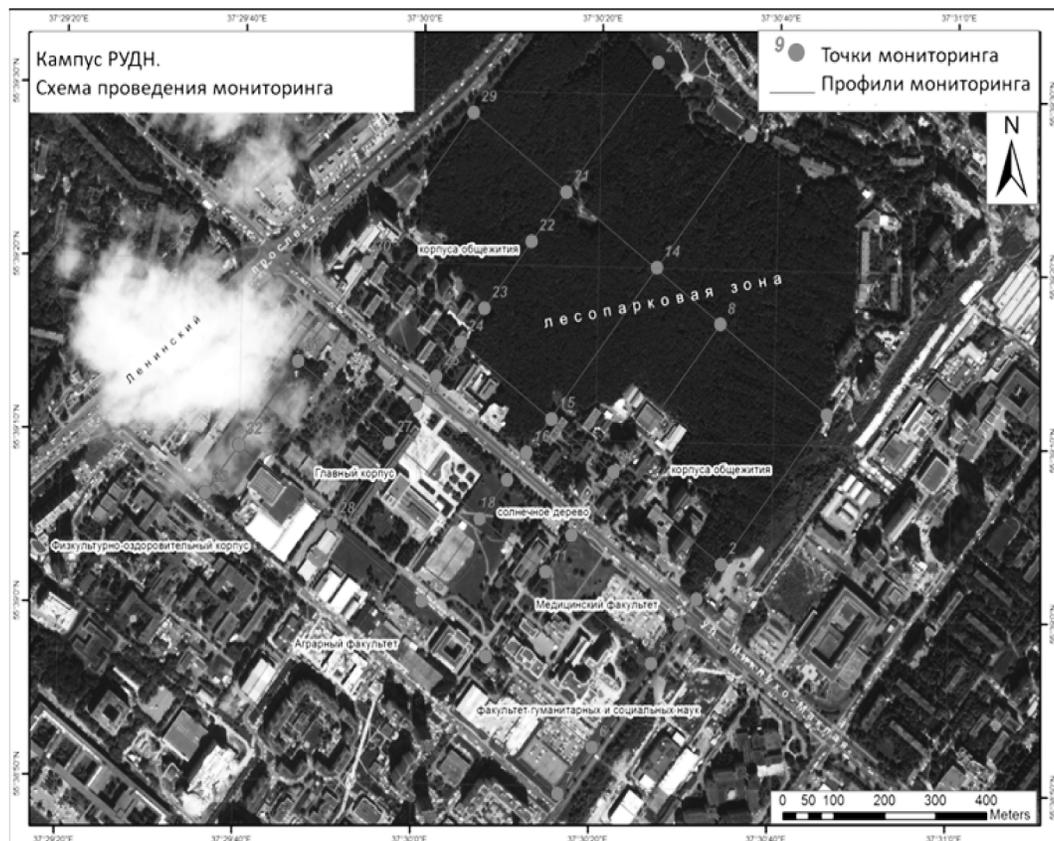


Рис. 1. Сеть мониторинга на территории кампуса
[**Fig. 1.** Monitoring points on the campus territory]

Полученные в ходе предварительного обследования результаты измерений обрабатывались с использованием статистических процедур (корреляционный, факторный и кластерный методы анализа) с привлечением программного комплекса STATISTICA 8. Сведения об отдельных видах нагрузок (загрязнения воздуха сажей, диоксидом азота, диоксидом серы, акустические нагрузки, радиационный фон, загрязнение снегового покрова) были картированы с использованием программного комплекса ArcView.

По данным карт на основе их оцифровывания отстраивались характерные профили нагрузок уровней шума, радиации, содержания в воздухе и почвах характерных загрязнителей. Это позволило получить серию карт антропогенных нагрузок и создать дополнительную основу для выделения функциональных зон на территории. Структурная схема работ по созданию алгоритма мониторинга кампуса представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Этапы создания системы мониторинга кампуса РУДН

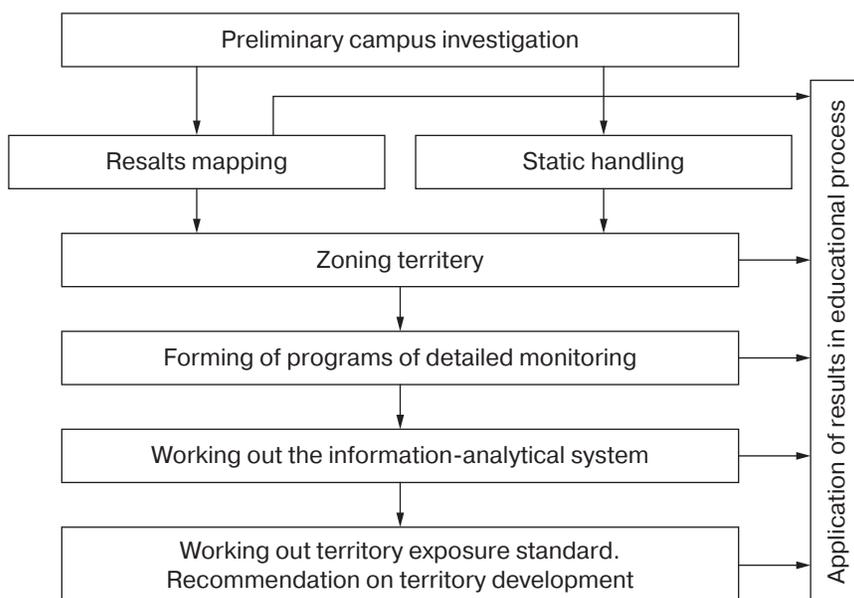


Fig. 2. Stages of the creation of monitoring system of RUDN-University

Важнейшее требование к создаваемой сети мониторинга окружающей среды — ее эффективность. Это свойство обеспечивается за счет получения необходимого количества и качества информации при проведении оптимального количества наблюдений [5].

Предварительное обследование проводится для выбора оптимальной сети и сроков наблюдений, источников загрязнения, методов их фиксации в различных

природных средах (планирования сети пробоотбора). Репрезентативность отбора проб — необходимая основа всех видов мониторинга.

Для получения репрезентативной информации о пространственной и временной изменчивости загрязнения воздуха, снега, почв, растительности предварительно проведено обследование условий и характера пространственной и временной изменчивости загрязнений природных сред. Для этого использовались непосредственные замеры в точках, сопровождающиеся отбором проб (рекогносцировочный метод).

На карту-схему кампуса и прилегающей территории наносится регулярная сетка с шагом в зависимости от масштаба (или другой градации) с учетом застройки. На местности по специально разработанной программе случайного отбора проб измеряются параметры, отбираются и анализируются пробы в точках, совпадающих с узлами сетки, наложенной на карту-схему. Для получения статистически достоверных средних значений измеренных концентраций проводится анализ комбинаций точек на сетке, объединенных в квадраты, с различной площадью, с учетом направлений ветра по направлениям. Такой метод позволяет выявить как границы загрязняющих объектов и узлов (включая автодороги), так и *зоны их влияния*. Последнее крайне важно, поскольку к данным зонам влияния будут привязаны фенологические наблюдения и сформирована специальная программа физико-химических исследований (отбор и хроматографический анализ приземного атмосферного воздуха, анализ почвенного воздуха, влаги, ЯМР и ИК-спектрометрический анализ почв, воздушных взвесей, смывов с растительности и стен сооружений, автостоянок и др.). При этом обеспечивается возможность сравнения полученных результатов с расчетными данными математических моделей. Использование методов моделирования является обязательным.

При вероятности роста концентрации примеси выше установленных нормативов за содержанием такой примеси в выявленной зоне устанавливается наблюдение. На основе оценок загрязнения атмосферного воздуха и других сред примесями и физическими воздействиями, а также изменения полей концентрации примесей (физических параметров) по территории и во времени с учетом карт, разрабатывается схема размещения стационарных постов наблюдений и фенологических площадок на территории кампуса РУДН и программы их работ. При разработке программы учитываются задачи и информативность каждого измерительного пункта и особенности изменчивости концентрации каждой примеси в атмосферном воздухе и сопредельных средах. В обязательном порядке измеряются основные, наиболее часто встречающиеся загрязняющие воздух вещества: пыль, SO_2 , CO , NO_x . Выбор других веществ, требующих контроля, определяется спецификой загрязнения, выбросов и частотой превышения ПДК.

Функциональное зонирование территории кампуса РУДН

Техногенная нагрузка разнообразна с точки зрения интенсивности и видов воздействия на различные части городских территорий. В нашем случае решалась задача организации мониторинга территории кампуса РУДН, что потребовало разработки схемы функционального зонирования территории.

Привлечение сведений по комплексу параметров позволило провести *предварительное* зонирование территории по совокупности антропогенных нагрузок и «настроить» систему мониторинговых наблюдений с учетом приоритетных видов воздействий на окружающую среду [5]. Программы наблюдений включают фитомониторинг, контроль акустической среды, определенные загрязнения атмосферы, а также соединения повышенной токсичности (ПАУ). В целом территория кампуса подразделяется по уровню техногенных нагрузок на следующие функциональные зоны, которые в последующем определяют структуры программы мониторинга (рис. 3).



Рис. 3. Функциональное зонирование территории кампуса (см. табл. 1)

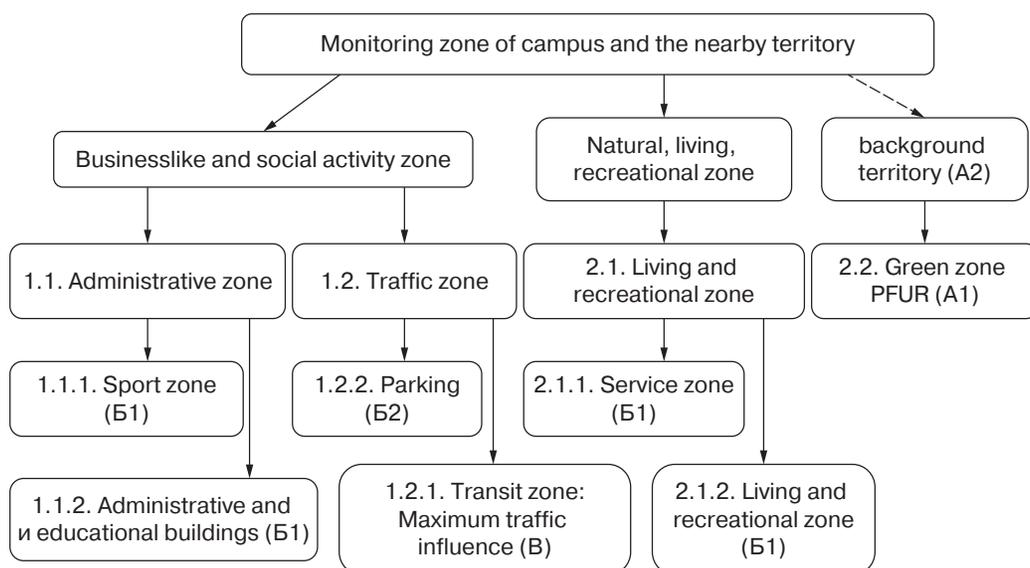


Fig. 3. Functional zoning of campus (in brackets — impact levels, see Tab. 1)

Таблица 1

Характеристики техногенной нагрузки в функциональных зонах кампуса (в знаменателе — среднее значение)

Зона	Радиация, мкРв/ч	Шум, дБ	СО, мг/м ³	H ₂ S, мг/м ³	Сажа, мг/м ³	NO ₂ , мг/м ³	Бенз(а)пирен в снеге, нг/г
A — Природная, жилая, рекреационная зона	0,09–0,16 0,13	31,7–50,0 38,8	0,06–0,49 0,18	0,001–0,002 0,001	0,018–0,027 0,021	0,07–0,42 0,17	0,005–0,006 0,006
A1 — Зоны минимальных нагрузок	0,09–0,12 0,11	35,0–42,0 38,8	0,10–0,19 0,14	0,001–0,002 0,002	0,023–0,027 0,025	0,12–0,42 0,31	0,005–0,006 0,006
A2 — Фоновая территория	0,14–0,16 0,15	31,7–50,0 38,8	0,06–0,49 0,21	0,001	0,018–0,021 0,019	0,07–0,10 0,08	0,006
B — Зона минимальных нагрузок	0,093–0,277 0,14	43,3–81,7 55,2	0,0501–0,41 0,17	0,001–0,002 0,002	0,024–0,050 0,038	0,25–1,03 0,64	0,003–0,140 0,04
B1 — Зона максимальных нагрузок	0,13–0,27 0,186	46,0–51,0 48,5	0,14–0,18 0,16	0,001	0,035–0,050 0,043	0,54–1,03 0,7	0,010–0,016 0,013
B2 — Зона максимальных нагрузок	0,10–0,28 0,17	43,3–51,0 47	0,05–0,18 0,12	0,001–0,002 0,001	0,027–0,050 0,036	0,52–1,03 0,71	0,010–0,036 0,025
B — Зона максимального влияния транспорта	0,130–0,137 0,133	55,0–63,0 59	1,29–1,47 1,38	0,001–0,002 0,002	0,032–0,055 0,043	0,86–1,08 0,97	0,005–0,006 0,005

Table 1

Anthropogenic load characteristics in functional campus zones (with the average meaning under the line)

Zone	Noize, dB	CO, mg/m	H ₂ S, mg/m	Soot, mg/m	NO ₂ , mg/m ³	Benz(a)pyrene in snow, nanograms/g
A — Natural, living, recreational zone	31,7–50,0 38,8	0,06–0,49 0,18	0,001–0,002 0,001	0,018–0,027 0,021	0,07–0,42 0,17	0,005–0,006 0,006
A1 — Zone of the lowest load levels	35,0–42,0 38,8	0,10–0,19 0,14	0,001–0,002 0,002	0,023–0,027 0,025	0,12–0,42 0,31	0,005–0,006 0,006
A2 — Background territory	31,7–50,0 38,8	0,06–0,49 0,21	0,001	0,018–0,021 0,019	0,07–0,10 0,08	0,006
B — Деловая и социально-активная	43,3–81,7 55,2	0,0501–0,41 0,17	0,001–0,002 0,002	0,024–0,050 0,038	0,25–1,03 0,64	0,003–0,140 0,04
B1 — Businesslike and social activity zone	46,0–51,0 48,5	0,14–0,18 0,16	0,001	0,035–0,050 0,043	0,54–1,03 0,7	0,010–0,016 0,013
B2 — Zone of the lowest load levels	43,3–51,0 47	0,05–0,18 0,12	0,001–0,002 0,001	0,027–0,050 0,036	0,52–1,03 0,71	0,010–0,036 0,025
B — Maximum traffic influence zone	55,0–63,0 59	1,29–1,47 1,38	0,001–0,002 0,002	0,032–0,055 0,043	0,86–1,08 0,97	0,005–0,006 0,005

В результате обработки массива данных по характеристикам окружающей среды кампуса были выявлены следующие уровни антропогенной нагрузки для функциональных зон (табл. 1).

Картирование измеренных характеристик техногенных нагрузок подтвердило предположение о том, что максимальные загрязнения обусловлены влиянием автотранспорта. Территория кампуса контактирует с автомагистралями с четырех сторон, и именно вблизи автодорог отчетливо прослеживаются зоны максимальных загрязнений. Помимо этого, выявлены очаги повышенных уровней загрязнения отдельными химическими веществами: пиковая нагрузка загрязнения *диоксидом азота* на точке вблизи одного из светофоров, а также точка с повышенной концентрацией в снеге *бенз(а)пирена* вблизи одной из автостоянок. Оценки показали, что в зависимости от экранирующего влияния зданий и зеленых насаждений пространственное распределение суммы ПАУ в кампусе варьирует от 0,144 до 7,86 мкг/г снега.

Полученные результаты контроля природных сред позволяют сделать вывод о том, что существующие техногенные нагрузки на территории кампуса при сложившейся погодной ситуации практически не превышают действующих нормативов. Однако при наступлении менее благоприятных погодных условий вероятность превышения нормативов вполне реальна с настоящим уровнем загрязненности и перспектив интенсификации техногенных нагрузок. Кроме сказанного, необходимо учитывать аккумуляционное накопление загрязнителей в компонентах природных сред с тем, чтобы не упустить начало «триггерного эффекта» гибели растительности.

Оценка влияния автотранспорта на территорию кампуса

В рамках проекта начато оценка выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта, проезжающего по ул. Миклухо-Маклая, пересекающей кампус. Первый этап расчетов был выполнен по статистическим данным с автодорожных камер на участке дороги по ул. Миклухо-Маклая от перекрестка с Ленинским просп. до перекрестка с ул. Опарина протяженностью 1 км за январь 2017 г. Исходные данные — среднесуточная интенсивность движения (автомобили/ч), среднесуточная скорость (км/ч). Данные по интенсивности представлены как общим значением, так и дифференцировано для каждой группы транспорта — микроавтобусы, легковые машины, грузовой транспорт, автобусы, трейлеры.

Расчет проводился по методике «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов» (ГОСТ Р 56162—2014). Оценены выбросы следующих загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами автомобилей: СО, оксиды азота (в пересчете на диоксид азота); УВ, сажа, SO₂, формальдегид, бенз(а)пирен. Выброс *i*-го загрязняющего вещества потока автотранспортных средств (M_L) определялся по формуле:

$$M_L = \frac{L}{1200} \sum M_K^L G_k r_v,$$

где L — протяженность участка дороги, км; M_K^L — удельный пробеговый выброс *i*-го загрязняющего вещества автомобилями *k*-й группы, г/км; k — число групп автомо-

билей, шт.; G_k — фактическая наибольшая интенсивность движения; r — поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения потока автотранспортных средств v_k (км/ч) на выбранном участке дороги.

Интенсивность движения на рассматриваемом участке дороги подчиняется следующим закономерностям [3]: максимальное количество автомашин фиксируется по средам и субботам, минимальное — по пятницам. Соотношение групп транспортных средств в транспортном потоке практически не меняется — преобладает легковой транспорт (60—66,8%), далее грузовой (20,1—25,1%), автобусы (6,2—7,0%), трейлеры (3,6—4,5%) и микроавтобусы (1,8—3,7%).

Среди загрязняющих веществ, выделяемых потоком автотранспорта, преобладают NO_2 (44,8% от общей массы выброса) и CO (31,4%), затем УВ (16,1%) и сажа (1,0%), формальдегид (0,2%), SO_2 (0,19%) и бенз(а)пирен ($10^{-5}\%$). Средний выброс загрязняющих веществ по категориям автотранспорта за рассматриваемый период представлен в таблице 2.

Таблица 2

Средний выброс загрязняющих веществ по категориям автотранспорта, г/с
[The Average pollutant emissions by vehicles, g/s]

Вещества — загрязнители Emission gases	Легковые Cars	Грузовые Tracks	Автобусы Buses	Микроавтобусы Minibuses	Трейлеры Trailers	Сумма по всем видам транспорта, т/год Total emission of all vehicles types, t/year
CO	0,54	0,42	0,09	0,07	0,08	0,104
NO_2	0,32	0,92	0,23	0,04	0,21	0,148
УВ	0,12	0,32	0,08	0,02	0,07	0,053
Soot	0,0011	0,0249	0,0051	0,0003	0,0056	0,0032
SO_2	0,0023	0,0032	0,0007	0,0002	0,0008	0,0006
Formaldehyde	0,0050	0,0014	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007
Benz (a) pyrene (10^{-6})	0,0467	0,1306	0,0307	0,0065	0,0291	0,021

Суммарный выброс загрязнителей автотранспортом, проходящим вдоль территории кампуса РУДН, составляет 0,332 т/г (по расчетному месяцу). Распределение загрязняющих веществ в общем выбросе в зависимости от различных видов транспорта следующее: CO в выбросе от легкового и грузового транспорта составляет 47,2% и 31,5% соответственно. Основными поллютантами, производимыми грузовым транспортом являются NO_2 (49,8%), УВ (47,7%), сажа (62,4%) и бенз(а)пирен (48,9%). Формальдегид выбрасывается преимущественно легковым транспортом (65,8%). Доля легкового и грузового транспорта в выбросе SO_2 составляет 35,0% и 39,4% соответственно. В суммарном загрязнении по всем веществам главную роль играет грузовой транспорт (47,64%), на втором месте легковой (27,29%), на долю автобусов приходится 11,23%, трейлеров — 10,41%, микроавтобусов — 3,43%.

Полученные результаты коррелируют с данными, полученными при отборе проб [7]. Так, например, выявленное при замерах превышение ПДК NO_2 и пространственное распределение на территории кампуса можно объяснить именно воздействием автотранспорта в районе ул. Миклухо-Маклая и перекрестка с Ленинским проспектом.

Перспективы развития проекта

В настоящее время завершается первый год реализации проекта. Его результаты позволили сформировать схему экологического мониторинга кампуса, разработать детальные программы для различных функциональных зон, получить объективные данные о техногенной нагрузке на территорию, получить информационную основу для разработки экологической политики университета.

Помимо этого, привлечение студентов к участию в проекте позволяет развивать навыки исследовательской и проектной деятельности студентов.

В перспективе благодаря реализации программ мониторинга планируется расширение опыта, укрепление имиджа РУДН как экологичного университета. Реализация инновационных методов оценки качества окружающей среды (в частности, методы анализа геохимической информации, ГИС-технологии и др.) позволяет проводить исследования на современном уровне.

Одно из перспективных направлений — создание информационно-аналитической системы экологического мониторинга кампуса (ИАСЭМ) РУДН. Эта система предназначена для автоматизации процесса сбора, хранения, обработки и представления информации о состоянии окружающей среды, экологических проблем кампуса.

Основная цель — обеспечить поддержку в выработке управленческих решений по сохранению зеленой зоны кампуса, созданию благоприятных условий для студентов и работы персонала. Позволяет дать объективную характеристику антропогенного воздействия на природную среду, установить приоритетные экологические проблемы, проследить динамику происходящих в окружающей среде процессов, оценить эффективность проводимых природоохранных мероприятий. Планируется разработать ИАСЭМ как многопользовательскую сетевую программу.

В состав ИАСЭМ включаются три взаимосвязанные подсистемы:

- ведение и анализ экологических показателей;
- ведение кадастра наиболее уязвимых мест и экологических ситуаций кампуса;
- ведение и анализ эксплуатации природных объектов и инженерных сетей.

Заключение

Современный вуз — не просто место получения знаний, но и проводник экологической культуры, который должен стать примером экологичности для учащихся. Оценки техногенного давления на социально значимую территорию — кампус, как место «компактного проживания» студентов из 155 стран мира и сотрудников университета, представляют как практический, так и научный интерес, а сам проект позволяет дополнительно решать целый комплекс важнейших задач.

Актуальность проекта связана с необходимостью усиления практической составляющей в подготовке специалистов-экологов, потребностью в повышении общей экологической культуры населения (включая 8 тыс. «населения» кампуса — студентов и сотрудников университета); необходимостью оценки техногенного давления на уникальную территорию кампуса при интенсивном развитии инфраструктуры района; потребностью обеспечить конкурентоспособность рос-

сийских вузов (в том числе — за счет подтверждения экологичности) и их привлекательность для зарубежных абитуриентов.

Приведенные характеристики проекта, использованные методы свидетельствуют об инновационном характере работ.

Так, реализуется наиболее эффективный подход к обучению — обучение на практических примерах и непосредственного применения знаний на практике. Студентам предоставлена возможность самостоятельно оценить влияние автотранспорта на прилегающую территорию кампуса на основании теоретических расчетов и эмпирических (измеренных ими) данных. Это позволяет в дискуссионной форме на основании собственных измерений оценивать адекватность различных методов измерения, проводить сравнительный анализ концентрации поллютантов в средах.

Применены авторские подходы к организации мониторинга кампуса:

— выделение функциональных зон для формирования оптимальных программ мониторинга на локальной социально значимой территории для расчета оптимальных экологических параметров для них;

— формирование инновационных моделей загрязнения: оценивается миграция загрязнителей в системе «атмосфера — растения — почвы». Акцент делается на органические загрязнители (наиболее опасные из них полиароматические соединения и другие яркие признанные маркеры техногенных нагрузок). Данный подход в силу сложности крайне редко реализуется в современной практике геохимических исследований и безусловно является инновационным.

Социальный эффект проекта заключается в более успешной адаптации выпускников с практическими навыками на рынке труда; обеспечении комфортной и благоприятной (в том числе и визуальной) среды для проживания российских и зарубежных студентов. Просветительский эффект проекта достигается благодаря привлечению внимания к экологическим проблемам и повышению в целом экологической культуры студентов из 155 стран мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Программа ООН-Хабитат [Электронный документ]. URL: <http://www.un.org/ru/ga/habitat/> (дата обращения: 10.11.2017).
- [2] Семме Т. «Зеленый» Университет — это просто [Электронный документ]. URL: <http://journal.spbu.ru/?p=9952> (дата обращения: 10.11.2017).
- [3] Силаева П.Ю., Хаустов А.П., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х., Боева Д.В. Предварительная оценка выбросов автотранспорта на территории кампуса / Сб. научн. тр. XVIII Всеросс. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии и природопользования» 23–24 ноября 2017 г. М.: РУДН. С. 211—218.
- [4] Третьяков В.А., Корнев Л.В., Кривошеева О.Б. Воздействие шин на окружающую среду и человека. М.: Нефтехимпром, 2006. 154 с.
- [5] Хаустов А.П., Редина М.М. Экологический мониторинг: учебник для экологического бакалавриата. М.: Изд-во Юрайт, 2014. 637 с.
- [6] Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х. Оценка экологических функций зеленой зоны социально значимых объектов на примере кампуса РУДН / Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития: сб. материалов межд. науч.-практ. конф. М.: «Научно-издательский центр «Актуальность. РФ», 2017. С. 88—90.

- [7] *Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х.* Техносферная безопасность социально значимых территорий: экологический мониторинг кампуса РУДН / V Межд. науч.-практ. конф. «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы» (13—15 сентября 2017). Воронеж—Севастополь: Изд-во «Научная книга», 2017. С. 314—316.
- [8] *Якубов Х.Г.* Экологический мониторинг зеленых насаждений Москвы. М.: Стагирит-Н, 2005. 264 с.
- [9] *Khaustov A., Redina M., Aleinikova A., Mamadzhanov R.* Green campus of the green university: the RUDN-university experience / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, www.sgem.org, SGEM2017 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-11-9 / ISSN 1314-2704, 29 June — 5 July, 2017. Vol. 17. Issue 54. 65—72 pp.
- [10] *Redina M., Khaustov A.* Sustainability of the University — Environmental Responsibility of the Students: Experience of the RUDN-University [Электронный документ]. URL: <http://iwgm.ui.ac.id/wp-content/uploads/11/2017/05/Abstract-RUDN-University-Sustainability-of-the-University-Environmental-Responsibility-of-the-Students-Experience-of-the-RUDN-University.pdf> (дата обращения: 09.07.2017).
- [11] UI GreenMetric World University Ranking Background of the ranking [Электронный документ]. URL: <http://greenmetric.ui.ac.id/what-is-greenmetric/> (дата обращения: 10.11.2017).

© Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М.,
Мамаджанов Р.Х., Силаева П.Ю., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 15.12.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х., Силаева П.Ю. Проект экологического мониторинга кампуса Российского университета дружбы народов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 4. С. 562—584. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-562-584

Сведения об авторах:

Хаустов Александр Петрович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации. E-mail: khaustov_ar@rudn.university

Редина Маргарита Михайловна — доктор экономических наук, доцент, декан экологического факультета, заведующая кафедрой прикладной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: redina_mm@rudn.university

Алейникова Анна Михайловна — кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии Российского университета дружбы народов. E-mail: aleinikova_am@rudn.university

Мамаджанов Роман Хасанович — кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: mamadzhanov_rkh@rudn.university

Силаева Полина Юрьевна — ассистент кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: silaevapolina@gmail.com

PROJECT ON ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE CAMPUS OF PEOPLE FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

**A.P. Khaustov, M.M. Redina, A.M. Aleynikova,
R.Kh. Mamadzhanov, P.Yu. Silaeva**

Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The main tasks and the content of the environmental monitoring of the RUDN-University campus is justified. The university presents the results of its activity in the annual international ranking — Green Metric World University Ranking. RUDN-University started successful in 2015 and since 2017 is a national coordinator of this program in Russia. The campus is situated in the intensive transport pressure zone, therefore the environmental monitoring program takes this specific into account. Information on the team performing the project and the availability and instrumentation necessary for its implementation is given. The monitoring network covers various functional zones of the campus, as well as the adjoining forest park zone selected as the background. As a result of the processing of data sets on the characteristics of the campus environment, anthropogenic load levels for functional campus zones were calculated. In the future, as information accumulates, the boundaries of functional zones and technogenic loads will be adjusted (as well as monitoring content). Calculations of emissions of various types of vehicles on one of the main roads, as well as measurements of the radiation situation, noise levels, typical pollutants of automobile emissions into the atmosphere in different periods of the year were carried out. A geochemical survey of the snow cover has been performed to assess the accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Maps of atmospheric pollution and snow cover have been constructed, the values of exceeding the normative characteristics have been estimated, a survey of the state of vegetation at the beginning and end of the growing season has been carried out. The obtained data indicate a relatively favorable environmental situation on the campus and the need for further monitoring using more accurate analytical methods for analyzing natural environments, and developing models to predict changes in the components of the campus ecosystem. Such models will allow to reveal the trend of the behavior of pollution on the basis of their bioindication (landscape-destructive changes) under the conditions of specific impacts of oil products burned and other types of urban pollution. It is planned to carry out an inventory and certification of the green plantations of the campus, followed by an object-oriented assessment of vegetation, soil conditions under conditions of varying atmospheric pollution flows and emissions of road transport. As an instrument suggested to create the information and analytical system of monitoring.

Key words: RUDN-University, campus, monitoring, pollution, transport, models, petroleum products, atmosphere, snowcover, soils, vegetation

REFERENCES

- [1] UN-HABITAT program. Available at: <http://www.un.org/ru/ga/habitat/> (date of access: 11.10.2017).
- [2] Semme T. «Green» University — it is easy. Available at: <http://journal.spbu.ru/?p=9952> (date of access: 11.10.2017).
- [3] Silaeva P.Yu., Khaustov A.P., Aleinikova A.M., Mamajanov R.Kh., Boeva D.V. Preliminary evaluation of motor vehicles. scientific. Works of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference «Actua Problems of Ecology and Nature Management» November 23-24, 2017. M.: RUDN Publ. P. 211—218.
- [4] Tretyakov V.A., Kornev L.V. Krivosheeva O.B. Impact of tires on the environment and people. Moscow: Neftekhimprom, 2006. P. 154.

- [5] Khaustov A.P., Redina M.M. Environmental monitoring: a textbook for environmental baccalaureate. Moscow: Urait Publishing House, 2014. P. 637.
- [6] Khaustov A.P., Redina M.M., Aleinikova A.M., Mamadzhano R.K. Assessment of ecological functions of the green zone of socially significant objects on the example of the PFUR campus / Green Infrastructure of the Urban Environment: Current State and Development Prospects: Textbook of the International Scientific and practical Conference. Moscow «Scientific Publishing Center «Aktual'nost'.RF», 2017. Pp. 88–90.
- [7] Khaustov A.P., Redina M.M., Aleinikova A.M., Mamadzhano R.K. Technosphere safety of socially significant territories: ecological monitoring of the PFUR campus. Vth International scientific and practical conference «Environmental geology: theory, practice and regional problems» (September 13-15, 2011). Voronezh—Sevastopol: Science Book Publishing House, 2017. P. 314–316.
- [8] Yakubov Kh.G. Ecological monitoring of green plantations in Moscow. M.: Stagirite-N, 2005. 264 p.
- [9] Khaustov A.P., Redina M.M., Aleinikova A.M., Mamadzhano R.K. Green campus of the green university: The RUDN-university experience / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, www.sgem.org, SGEM2017 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-11-9 / ISSN 1314-2704, 29 June — 5 July, 2017. Vol. 17. Issue 54. 65–72 pp.
- [10] Redina M., Khaustov A. Sustainability of the University - Environmental Responsibility of the Students: Experience of the RUDN-University. Available at: <http://iwgm.ui.ac.id/wp-content/uploads/11/2017/05/Abstract-RUDN-University-Sustainability-of-the-University-Environmental-Responsibility-of-the-Students-Experience-of-the-RUDN-University.pdf> (date of access: July 9, 2017).
- [11] UI GreenMetric World University Ranking Background of the ranking. Available at: <http://greenmetric.ui.ac.id/what-is-greenmetric/> (date of access: 10.11.2017).

Article history:

Received: 15.12.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Khaustov A.P., Redina M.M., Aleynikova A.M., Mamadzhano R.Kh., Silaeva P.Yu. (2017) Project of environmental monitoring of the Campus of People friendship University of Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 562–584. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-562-584

Bio Note:

Khaustov Alexander Petrovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation. E-mail: khaustov_ap@rudn.university

Redina Margarita Michaylovna — Doctor of Economics Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Ecology, Head of the Department of Applied Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: redina_mm@rudn.university

Aleynikova Anna Mikhailovna — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geoecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: aleinikova_am@rudn.university

Mamadzhanov Roman Khasanovich — Candidate of Biol. Sciences, senior lecturer of the Department of Applied Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: mamadzhanov_rkh@rudn.university

Silaeva Polina Yurievna — assistant of the Department of Applied Ecology, Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: silaevapolina@gmail.com

DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-585-594

УДК 574

ВЫДАЮЩИЙСЯ РОССИЙСКИЙ ЭКОЛОГ НИКОЛАЙ ПАВЛОВИЧ НАУМОВ

А.А. Никольский

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Выдающийся российский (советский) эколог Николай Павлович Наумов (25 ноября 1902 г. — 2 февраля 1987 г.) — инициатор восстановления преподавания экологии в послевоенный период. Его учебник «Экология животных» издан во многих странах мира. Экология для Н.П. Наумова была наукой о биологических системах надорганизменного уровня (популяции и биогеоценозы). Экология, по мнению Н.П. Наумова, имеет большое практическое значение. Центральное место в научных исследованиях Н.П. Наумова занимают структура и функционирование надорганизменных систем. Наумов — автор концепции биологического сигнального поля. Фундаментальным положением концепции является то, что структурой и функциями экологических систем управляют не только вещественно-энергетические, но и коммуникативные процессы.

Ключевые слова: экология, Николай Павлович Наумов, надорганизменные системы, биологическое сигнальное поле

Среди отечественных ученых заметное влияние на развитие экологии в России оказал профессор Московского университета им. М.В. Ломоносова Николай Павлович Наумов (25 ноября 1902 г. — 2 февраля 1987 г.). С 1958 по 1970 гг. Николай Павлович занимал должность декана биолого-почвенного факультета МГУ, а с 1951 по 1982 гг. — заведовал кафедрой зоологии позвоночных. В эти же годы он возглавлял многочисленные государственные научные и образовательные программы, на десятилетия определившие направления развития экологии в нашей стране.

Предлагаемое сообщение представляет собой адаптированный к журнальной публикации доклад «Н.П. Наумов и экология», прочитанный 7 декабря 2017 г. на Ученом совете биологического факультета МГУ, посвященном 115-й годовщине со дня рождения профессора Наумова.

Много интересных фактов из личной и творческой биографии Н.П. Наумова, уникальные фотографии и библиографию его трудов можно найти в статье,



опубликованной внуками Николая Павловича, Н.Д. и А.Д. Поярковыми, и его ближайшим учеником Г.Н. Симкиным [1].

В последние годы в обыденном сознании экология ассоциируется с наукой о загрязненности. Это направление исследований актуально, имеет огромное практическое значение, но не является экологией. Его целесообразно отделить от экологии и называть «поллютология». Тем более, что прецедент уже создан: в научную литературу вошел и не вызывает возражений термин «поллютанты» (например, монография Э.В. Ивантера и Н.В. Медведева, вышедшая в Издательстве «Наука» [2]).

Сказанное о поллютологии я прошу рассматривать как дискуссию, к которой на страницах «Вестника РУДН ...» призывают авторы редакционной статьи, открывающей первый номер этого журнала за 2017-й год [3].

Ясный ответ на вопрос, чем была экология для Н.П. Наумова, одного из самых авторитетных экологов второй половины прошлого столетия, можно найти в его «Предисловии к русскому изданию» «Основ экологии» [4] американского эколога Юджина Одума, вышедшего в 1975 г. Наумов [4. С. 5] писал: «Основная причина возрастания интереса к экологии — науке о биологических системах надорганизменного уровня — ее тесная связь с важнейшими проблемами современного мира: угрозой истощения природных ресурсов, загрязнения и отравления среды промышленными отходами и разрушения естественных сообществ». То есть, экология для Наумова была биологической наукой, наукой о биологических *системах надорганизменного уровня*, наукой, связанной с важнейшими проблемами современного мира. *Связанной с проблемами современного мира, но не тождественной им*. Эти проблемы связаны с экологией, но экологией не являются. Так же как многие инженерные отрасли (строительство, например) связаны с физикой, но физикой не являются.

Интерес Н.П. Наумова к экологии, как науке о биологических системах надорганизменного уровня, находим во многих его ранних работах [1], но первый, наиболее заметный след в экологии Николай Павлович внес в 1948 году, опубликовав докторскую диссертацию «Очерки сравнительной экологии мышевидных грызунов» [5]. Спустя 70 лет книга не потеряла актуальности. Основная идея книги заключается в анализе влияния множества экологических факторов на формирование жизненных форм грызунов. Основной вывод, к которому приходит Наумов, состоит в том, что наиболее существенным отличием жизненных форм служат особенности питания, которым подчинены морфология и образ жизни животных, а главная движущая сила специализации — конкуренция за ресурсы.

Николай Павлович чувствовал личную ответственность за развитие экологии в нашей стране, как самостоятельного научного направления, и за преподавание экологии. Ему принадлежит честь восстановления преподавания экологии в высшей школе в послевоенный период.

В 1945 году вышло второе издание «Основ экологии животных» Даниила Николаевича Кашкарова [6], ведущего советского эколога в довоенный период [7], скончавшегося в ноябре 1941 г. И только в 1955 г. вышло первое издание книги Наумова «Экология животных» [8], рекомендованное Министерством высшего образования СССР в качестве учебного пособия. Это пособие стало первым за

послевоенный период, фактически, учебником экологии. В 1963 году вышло второе издание «Экологии животных» [9]. Оба издания были переведены и изданы в США, Великобритании, Японии, Китае, Вьетнаме, Румынии и Польше [например, работы 10; 11], оказав влияние на развитие экологии в мире. Причем, не только в «лагере социализма», как можно было бы ожидать, исходя из идеологии того времени, но и по ту сторону «железного занавеса». Последнее существенно, так как говорит о признании мировым научным сообществом высокого уровня развития экологии в нашей стране.

Оба издания включают все основные разделы экологии: факториальная экология, популяционная экология, экология сообществ, трофоэкология, физиологические и биохимические аспекты экологии и, конечно, ее практическое значение. Прикладным аспектам науки Николай Павлович всегда придавал особое значение.

«Экологию животных» [8] завершает глава «Влияние человеческой деятельности на численность, распространение и образ жизни отдельных видов животных, состав и строение сообществ». В названии главы расставлены акценты, реализованные в соответствующих разделах, таких как влияние земледелия на жизнь диких животных, значение лесного хозяйства и промысла в жизни животных, животные синантропы в населенных пунктах, *плановая переделка природы* в нашей стране.

Последний раздел (выделено курсивом) это не просто дань идеологии того времени. Николая Павловича всегда интересовало взаимоотношение природы и общества. И хотя начало главы может показаться политизированным, оно абсолютно адекватно отражает суть ее содержания. Николай Павлович ссылается на К. Маркса [8. С. 467]: «Культура, если она развивается стихийно, а *не направляется сознательно* (курсив Н.П.) ... оставляет после себя пустыню». Пустыня — это образ. Сегодня нам известны десятки пустынь на всех континентах, оставленных стихийной культурой человека за последние 10 тыс. лет, со времени появления земледелия. Кстати, культура, от латинского *cultura* — возделывание.

Получившая широкое распространение современная концепция «устойчивого развития» представляет собой не что иное, как попытку Организации Объединенных Наций сознательно направлять развитие цивилизации, ее культуру, в нужном, по мнению ООН, направлении.

Николай Павлович свободно ориентировался во всех аспектах современной ему экологии, но ее основой он всегда считал функционирование живых систем самого высокого, надорганизменного уровня — популяций и биогеоценозов.

Концепцию структуры и функционирования надорганизменных систем Наумов наиболее полно, глубоко, на конкретных примерах развил в монографии «Природный очаг чумы в Приаральских Каракумах» [12], написанной Николаем Павловичем совместно с его учениками В.С. Лобачёвым, П.П. Дмитриевым и В.М. Смирным.

«Природный очаг чумы в Приаральских Каракумах» — это блестящий пример полноты экологического анализа природного явления, в котором задействовано множество взаимосвязанных компонентов, образующих сложнейшую, многоуровневую систему. Методология этого выдающегося труда основана на концепции,

которой Наумов придерживался на протяжении всей своей творческой деятельности. Основу этой методологии составляют представления об уровнях организации живой материи — прежде всего, популяционный и биоценотический уровни, что нашло развитие во многих публикациях Наумова [например, в работах 13; 14].

Проведя детальный анализ специфики ландшафта на территории природного очага, специфики динамики пространственно-демографической структуры популяции большой песчанки — основного компонента природного очага чумы в Приаралье и специфики динамики эпизоотий чумы, авторы предложили эффективные методы воздействия на природный очаг этой особо опасной инфекции на огромной территории.

В конце 1973 г. произошло интересное событие в отечественной экологии — состоялась Пятая Всесоюзная экологическая конференция, созданная по инициативе Николая Павловича и академика Станислава Семёновича Шварца, директора Института экологии растений и животных АН СССР. Конференция была задумана как дискуссия о том, что такое экология и каково ее главное содержание. Всего было 10 докладов и 8 докладчиков. Конференция проходила в форме пленарных докладов в Большой биологической аудитории биологического факультета МГУ.

Интригу усиливало то, что Наумов и Шварц выступили с докладами под одним и тем же названием — «Теоретические основы и принципы экологии». Уже в то время были заметны расхождения во взглядах на содержание экологии как науки. Двумя лидерами отечественной экологии было принято решение обсудить проблему в кругу ведущих специалистов. К началу конференции был издан сборник, общим объемом 175 страниц и тиражом 500 экземпляров. Помимо Н.П. Наумова и С.С. Шварца с докладами выступили признанные в экологии того времени авторитеты: М.С. Гиляров, Д.А. Криволицкий, Г.А. Викторов, И.Я. Поляков, Н.Н. Данилов, В.А. Попов.

В докладе, которым Николай Павлович открывал конференцию, он опирается на определение экологии, данное Геккелем [15; 7]. Ясно обозначив свое кредо эколога, Наумов пишет [16. С. 4]: «С момента формирования ее (экологии) основной целью стало изучение надорганизменных систем». И далее [16. С. 5]: «Она особенно осложнена существованием двух относительно самостоятельных аспектов организации надорганизменных систем: таксономического и биоценотического. Каждый вид представляет целостную систему взаимодействующих популяций ... Но в то же время каждая популяция может существовать только как часть биоценоза ...». И, наконец [16. С. 6]: «Своеобразное “двойное подчинение” популяций, каждая из которых, с одной стороны, является частью целостного вида, а с другой, своим существованием обязана местному биогеоценозу, всегда ощущалось экологами и нашло свое отражение в делении экологии на аут- и синэкологию».

Это «своеобразное “двойное подчинение” популяций» подтверждается многочисленными примерами. Результат «двойного подчинения» есть реализация популяциями генотипа и реализация видами экологической ниши [17].

В этом же докладе Наумов развивает концепцию биологического сигнального поля, подчеркивая, что оно является компонентом биогеоценоза. Впервые эту концепцию Наумов изложил в 1971 году в статье, опубликованной в «Журнале общей биологии» [14].

Итогом раздумий Николая Павловича над сущностью биологических сигнальных полей животных можно считать большую статью, опубликованную им в 1977 г. в сборнике пленарных докладов Первого международного териологического конгресса, который проходил в стенах Московского университета [18].

Фундаментальным положением концепции биологического сигнального поля является то, что структурой и функциями экологических систем управляют не только вещественно-энергетические, но и коммуникативные процессы [19. С. 809]: «Измененная воздействием организмов среда становится неотъемлемой частью экосистем, т.е. пространственной основой популяций и биоценозов. Через атмосферу, воду, грунт и почву биотопа от одних особей к другим передаются не только вещества и энергия, но и информация, накопление которой увеличивает устойчивость надорганизменных систем». Совокупность таких систем сигнализации Н.П. Наумов назвал «биологическим сигнальным полем».

Наиболее емкое определение сигнального поля было опубликовано в работе «Теоретические основы и принципы экологии», в уже упоминавшемся докладе Пятой Всесоюзной экологической конференции [16. С. 16]: «Химические, акустические, оптические и др. сигнальные системы разных видов, накладываясь друг на друга и интегрируясь, могут образовывать “общее сигнальное поле биоценоза”. Оно представляет совокупность вносимых (и внесенных предыдущими поколениями) животными, растениями и микроорганизмами специфических и неспецифических изменений в окружающую среду, приобретающих сигнальное значение. Такое поле ... способствует целесообразной организации поведения, позволяя использовать опыт предыдущих поколений. Иными словами, биологическое сигнальное поле — видоизмененная деятельностью организмов среда — представляет своеобразный аппарат памяти (переработки и хранения информации) в такой надорганизменной системе как биогеоценоз».

По сути, Николай Павлович обратил внимание на то, что помимо генетического наследования информации в череде поколений и культурных традиций, существует еще один механизм передачи информации от поколения к поколению — экологическое наследование [7].

С участием Николая Павловича начались полевые исследования биологического сигнального поля млекопитающих. Уже в 1975 г. в журнале «Экология» было опубликовано краткое сообщение «Пространственно-временная характеристика биологического сигнального поля (на примере рева бухарского оленя)» [20]. А в 1981 г. в «Вопросах териологии» опубликована 30-страничная статья «Социальное поведение песца на острове Медном. Факторы, определяющие пространственно-временной режим активности» [21], где впервые показано, что биологическое сигнальное поле организует режим использования территории животными. В этой работе предложено одно из ключевых понятий концепции биологического сигнального поля «матрица стабильных элементов». Соавторами этого выдающего

ся полевого исследования стали ближайшие ученики Николая Павловича — М.Е. Гольцман, Е.П. Крученкова, Н.Г. Овсяников, С.В. Попов, В.М. Смирин.

В этом же томе «Вопросов териологии» опубликована статья ученицы Николая Павловича О.Б. Переладовой [22] «Пространственно-временная динамика рева кавказского и бухарского оленей», где показана связь между стабильными и нестабильными элементами сигнального поля.

Я с удовольствием обращаю внимание на то, что сегодня у профессора Наумова находится множество последователей. В 2012 г., в год 110-летия Николая Павловича, благодаря содействию академика В.В. Рожнова состоялась большая конференция «Биологическое сигнальное поле млекопитающих» и был опубликован великолепно изданный сборник докладов, собравший на 320 страницах 36 статей около 50 авторов [23]. Экологические аспекты концепции биологического сигнального поля обсуждаются также в работах [24—26].

Николай Павлович ясно видел, что экологическое знание становится инструментом политики. Этому, например, посвящена вся заключительная часть «Предисловия к русскому изданию» «Основ экологии» Одума, где Наумов, в частности, пишет [4. С. 6]: «Скептицизм и пессимизм автора по поводу многих сторон природы и общества, видимо, обусловлен действительно тяжелой ситуацией в капиталистическом мире, где дисгармония между темпами технического развития и пороками организации производственной и общественной деятельности становится все более отчетливой».

С пониманием воспринимая риторику того времени, спустя 40 лет мы видим, что Организация Объединенных Наций, предлагая концепцию устойчивого развития, по сути, говорит о том же. Вот как это звучит в Резолюции, принятой на Генеральной Ассамблее ООН 25 сентября 2015 г. [27]: «Нам видится мир, ... в котором модели потребления и производства и использование всех природных ресурсов ... несут рациональный характер ... Мир, в котором человек живет в гармонии с природой ... К 2020 году обеспечить учет ценности экосистем ... в ходе общенационального и местного планирования...». И так далее. На десятках страниц.

К сожалению, в последние четверть века понятие «экология» приобретает расширительный смысл, уступая свои традиционные позиции неоекологам, у каждого из которых своя экология — экология культуры, экология личности, социальная экология, эндоэкология и т.п. Приставка *эко* удобна для конструирования «новых направлений» в науке. Но ее использование всюду и всеми размывает науку. Расширительное использование «эко» контрпродуктивно и не так безобидно, как может показаться. Например, один из ведущих преподавателей РУДН (не эколог) вот уже 20 лет, начиная свое знакомство со студентами *1-го курса*, объявляет им, что «экология — НЕ наука». С этим «экология — НЕ наука» *студенты-экологи* живут на экологическом факультете 4 года и с тем же поступают в магистратуру, а некоторые из них, спустя несколько лет, защищают кандидатские диссертации по экологии.

Хаос, царящий в современной экологии, обязывает нас вернуться к ясному пониманию того, что экология — это наука о биологических системах надорганизменного уровня [4] и что пришло время отделить поллютологию от экологии.

Благодарности. Я благодарю заведующего кафедрой зоологии позвоночных биологического факультета МГУ профессора Л.П. Корзуна за приглашение принять участие и выступить с докладом на Ученом совете факультета, посвященном памяти Н.П. Наумова, внука Н.П. Наумова А.Д. Пояркова за ценные замечания в процессе работы над рукописью, Е.А. Ванисову за всестороннюю помощь при подготовке рукописи к опубликованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Поярков А.Д., Симкин Г.Н., Поярков Н.Д.* Николай Павлович Наумов: творческая жизнь / Биологическое сигнальное поле млекопитающих. Коллективная монография; под ред. А.А. Никольского, В.В. Рожнова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. С. 250—279.
- [2] *Ивантер Э.В., Медведев Н.В.* Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера. Институт леса КарНЦ РАН. М.: Наука, 2007. 229 с.
- [3] *Макарова М.Г., Редина М.М., Попкова А.В.* Разнообразие современной экологии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 1. С. 7—20.
- [4] *Наумов Н.П.* Предисловие к русскому изданию / Одум Ю. Основы экологии. М.: Изд-во «Мир», 1975. С. 5—6.
- [5] *Наумов Н.П.* Очерки сравнительной экологии мышевидных грызунов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. 204 с.
- [6] *Кашкаров Д.Н.* Основы экологии животных. 2-е изд. Л.: Учпедгиз, Ленинградское отделение, 1945. 382 с.
- [7] *Никольский А.А.* Великие идеи великих экологов: история ключевых концепций в экологии. М.: ГЕОС, 2014. 190 с.
- [8] *Наумов Н.П.* Экология животных. М.: Советская наука, 1955. 533 с.
- [9] *Наумов Н.П.* Экология животных. 2-е изд., перераб. М.: Высшая школа, 1963. 618 с.
- [10] *Naumov N.P.* *Ecologiazwerzat.* Warszawa, 1961. 532 p.
- [11] *Naumov N.P.* *The ecology of animals.* Univ. Illinois Press, Chicago-London, 1972. 631 p.
- [12] *Наумов Н.П., Лобачев В.С., Дмитриев П.П., Смирин В.М.* Природный очаг чумы в Приаральских Каракумах. М.: Изд-во МГУ, 1972. 405 с.
- [13] *Наумов Н.П.* Об эволюции биологических макросистем // Журнал общей биологии. 1967. Т. 28. № 6. С. 635—643.
- [14] *Наумов Н.П.* Уровни организации живой материи и популяционная биология // Журнал общей биологии. 1971. Т. 32. № 6. С. 651—666.
- [15] *Haeckel E.* *Generelle Morphologie der Organismen.* Bd. 2. Berlin: Verlag von Georg Reimer, 1866. 462 s.
- [16] *Наумов Н.П.* Теоретические основы и принципы экологии / Пятая Всесоюз. экол. конф. «Современные проблемы экологии» (доклады). М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 3—20.
- [17] *Nikol'skii A.A.* The basic functions of sound signals in mammals // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2016. № 3. С. 7—15.
- [18] *Наумов Н.П.* Биологические сигнальные поля и их значение в жизни млекопитающих / Успехи современной териологии. М.: Наука, 1977. С. 93—110.
- [19] *Наумов Н.П.* Сигнальные (биологические) поля и их значения для животных // Журнал общей биологии. 1973. Т. 34. № 6. С. 808—817.
- [20] *Никольский А.А., Новикова О.Б., Наумов Н.П.* Пространственно-временная характеристика биологического сигнального поля (на примере рева бухарского оленя) // Экология. 1975. № 1. С. 100—102.
- [21] *Наумов Н.П., Гольцман М.Е., Крученкова Е.П., Овсяников Н.Г., Попов С.В., Смирин В.М.* Социальное поведение песка на острове Медном. Факторы, определяющие простран-

- ственно-временной режим активности / Экология, структура популяций и внутривидовые коммуникативные процессы у млекопитающих. М.: Наука, 1981. С. 31—76.
- [22] *Переладова О.Б.* Пространственно-временная динамика рева кавказского и бухарского оленей / Экология, структура популяций и внутривидовые коммуникативные процессы у млекопитающих. М.: Наука, 1981. С. 182—244.
- [23] Биологическое сигнальное поле млекопитающих. Коллективная монография / под ред. А.А. Никольского, В.В. Рожнова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 323 с.
- [24] *Nikol'skii A.A.* Ecological Aspects of the Concept of the Biological Signal Field in Mammals // *Entomological Review*. 2003. Vol. 83. Suppl. 2. P. 136—141.
- [25] *Vanisova E.A., Nikol'skii A.A.* Biological Signaling Field in Mammals (For 110th Anniversary of Professor N.P. Naumov) // *Biology Bulletin Reviews*. 2013. Vol. 3. No. 5. P. 335—346.
- [26] *Ванисова Е.А., Горяинов С.В., Никольский А.А., Нифтуллаев Ф.Ю., Сорока О.В., Калабин Г.А.* Химическая структура биологического сигнального поля степного сурка (*Marmota bobak*) // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2016. № 3. С. 16—25.
- [27] Организация Объединенных Наций. Генеральная Ассамблея. 21 октября 2015 г. Семидесятая сессия. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 г. Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. URL: <http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/RES/70/1> (дата обращения: 03.01.2018).

© Никольский А.А., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 30.03.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Никольский А.А. Выдающийся Российский эколог Николай Павлович Наумов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 4. С. 585—594. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-585-594

Сведения об авторе:

Никольский Александр Александрович — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: nikolskiy_aa@rudn.university

OUTSTANDING RUSSIAN ECOLOGIST NIKOLAY PAVLOVICH NAUMOV

A.A. Nikol'skii

Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The outstanding Russian (Soviet) ecologist Nikolai Pavlovitch Naumov (November 25, 1902 — February 2, 1987) is the initiator of the restoration of teaching ecology in the post-war period. His textbook “Animal Ecology” is published in many countries of the world. Ecology for Naumov was a science about biological systems of the highest level (populations and biocenosis). Ecology, according

to Naumov, has great practical importance. The central place in Naumov's scientific research is occupied by the structure and functioning of biological systems of the highest level. Naumov is the author of the concept of a biological signal field. Fundamental position of this concept is that the structure and functions of ecological systems are controlled not only by materially-energy, but also by communicative processes.

Key words: ecology, Nikolai Pavlovich Naumov, biological systems of the highest level, biological signal field

REFERENCES

- [1] Poyarkov A.D., Simkin G.N., Poyarkov N.D. Nikolai Pavlovich Naumov: creativelife. *Biological signaling field in Mammals*. Eds A.A. Nikol'skii, V.V. Rozhnov. Moscow: KMK Scientific Press, 2013. 250—279 p. (in Russ.).
- [2] Ivanter Je.V., Medvedev N.V. *Ecological toxicology of natural populations of birds and mammals of the North*. Forest Research Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 2007. 229 p. (in Russ.).
- [3] Makarova M.G., Redina M.M., Popkova A.V. Diversity of modern ecology. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznideyatel'nosti [RUDN Journal of Ecology and Life Safety]*. 2017. Vol. 25. No. 1. P. 7—20. (in Russ.).
- [4] Naumov N.P. Preface to the Russian edition. Odum Ju. *Osnovyj ekologii [Fundamentals of Ecology]*. Moscow: Mir, 1975. P. 5—6. (in Russ.).
- [5] Naumov N.P. *Ocherki sravnitel'noj ekologii myshevidnyh gryzunov [Essays of comparative ecology of mouse-like rodents]*. Moscow-Leningrad: ASUSSR, 1948. 204 p. (in Russ.).
- [6] Kashkarov D.N. *Osnovyj ekologii zhitovnyh [Fundamentals of animal ecology]*. 2nd edition. Leningrad: Uchpedgiz, Leningrad branch, 1945. 382 p. (in Russ.).
- [7] Nikol'skii A.A. *The great ideas of the great ecologists: history of key concepts in ecology*. Moscow: GEOS, 2014. 190 p. (in Russ.).
- [8] Naumov N.P. *Jekologija zhitovnyh [Animal Ecology]*. Moscow: Soviet science, 1955. 533 p. (in Russ.).
- [9] Naumov N.P. *Jekologija zhitovnyh [Animal Ecology]*. 2nd edition, revised. Moscow: Higher school, 1963. 618 p. (in Russ.).
- [10] Naumov N.P. *Ecologia zverzat*. Warszawa, 1961. 532 p.
- [11] Naumov N.P. *The ecology of animals*. Univ. Illinois Press, Chicago-London, 1972. 631 p.
- [12] Naumov N.P., Lobachjov V.S., Dmitriev P.P., Smirin V.M. *Prirodn yj ochag chumy v Priaral'skih Karakumah [Natural foci of plague in Aral Karakum Desert]*. Moscow: MSU press, 1972. 405 p. (in Russ.).
- [13] Naumov N.P. On the evolution of biological macrosystems. *Zhurnal obshhej biologii [Biology Bulletin Reviews]*. 1967. Vol. 28. No. 6. P. 635—643. (in Russ.).
- [14] Naumov N.P. Levels of living matter organization and population biology. *Zhurnal obshhej biologii [Biology Bulletin Reviews]*. 1971. Vol. 32. No. 6. P. 651—666. (in Russ.).
- [15] Haeckel E. *Generelle Morphologie der Organismen*. Bd. 2. Berlin: Verlag von Georg Reimer, 1866. 462 s.
- [16] Naumov N.P. Theoretical bases and principles of ecology. *Fifth All-Union Ecological Conference "Modern problems of ecology"* (reports). Moscow: MSU press, 1973. P. 3—20.
- [17] Nikol'skii A.A. The basic functions of sound signals in mammals. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznideyatel'nosti [RUDN Journal of Ecology and Life Safety]*. 2016. No. 3. P. 7—15.
- [18] Naumov N.P. Biological (signal) fields and their significance in the life of mammals. *Uspekhi sovremennoi teriologii [Advances in Modern Theriology]*. Moscow: Nauka, 1977. P. 93—110. (in Russ.).
- [19] Naumov N.P. Signal (biological) fields and their significance for animals. *Zhurnal obshhej biologii [Biology Bulletin Reviews]*. 1973. Vol. 34. No. 6. P. 808—817. (in Russ.).

- [20] Nikol'skii A.A., Novikova O.B., Naumov N.P. Spate-temporal characteristics of the biological signal field (on the example of Bukhara deer roaring). *Ecology*. 1975. No. 1. P. 100—102. (in Russ.).
- [21] Naumov N.P., Gol'tsman M.E., Kruchenkova E.P., Ovsyanikov N.G., Popov S.V., Smirin V.M. Social behavior of arctic foxes on Mednyi Island: Factors determining the spatiotemporal pattern of activity. *Ekologiya, struktura populyatsii i vnutrividovye kommunikativnye protsessy u mlekopitayushchikh* [*Ecology, population structure, and intraspecific communicative processes in Mammals*]. Moscow: Nauka, 1981. P. 31—76. (in Russ.).
- [22] Pereladova O.B. Spate-temporal dynamics of the roar of the Caucasian and Bukhara deer. *Ekologiya, struktura populyatsii i vnutrividovye kommunikativnye protsessy u mlekopitayushchikh* [*Ecology, population structure, and intraspecific communicative processes in Mammals*]. Moscow: Nauka, 1981. P. 182—244. (in Russ.).
- [23] *Biological signaling field in Mammals*. Eds. A.A. Nikol'skii, V.V. Rozhnov. Moscow: KMK Scientific Press, 2013. 323 p. (in Russ.).
- [24] Nikol'skii A.A. Ecological Aspects of the Concept of the Biological Signal Field in Mammals. *Entomological Review*. 2003. Vol. 83. Suppl. 2. P. 136—141.
- [25] Vanisova E.A., Nikol'skii A.A. Biological Signaling Field in Mammals (For 110th Anniversary of Professor N.P. Naumov). *Biology Bulletin Reviews*. 2013. Vol. 3. No. 5. P. 335—346.
- [26] Vanisova E.A., Goryainov S.V., Nikol'skii A.A., Niftullayev F.Y., Soroka O.V., Kalabin G.A. Chemical composition of the biological signal field of steppe marmot (Marmota bobak). *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznideyatelnosti* [*RUDN Journal of Ecology and Life Safety*]. 2016. No. 3. P. 16—25. (in Russ.).
- [27] United Nations. General Assembly. 21 October 2015. Seventieth session. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Internet]. Available from: <http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/RES/70/1> (accessed: Jan 03, 2018).

Article history:

Received: 30.03.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Nikolsky A.A. (2017) Outstanding Russian ecologist Nikolay Pavlovich. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 585—594. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-585-594

Bio Note:

Nikolsky Alexander Alexandrovich — Doctor of Biological Sciences, Professor; Professor of the Department of System Ecology of Peoples' Friendship University of Russia. E-mail: nikolskiy_aa@rudn.university

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 6, 7, 97 или 2000 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; имя, отчество и фамилию авторов; полное название организации и ее структурного подразделения с указанием почтового адреса (улица, № дома, город, страна, почтовый индекс), аннотацию (5—7 строк) и ключевые слова (не менее 5 слов или словосочетаний);

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

— текст статьи;

— список литературы (по алфавиту; 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:

— две заверенные рецензии.

— сведения об авторах — полные имя фамилия, отчество, 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
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 115093

² Московский государственный университет
Воробьевы горы, Москва, Россия, 119899

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 обязательна ссылка на таблицы и рисунки. Таблицы должны иметь

заголовок, а рисунки — подрисуночную подпись. **Принимаются только черно-белые рисунки** (в форматах .tif, .bmp, .jpg) в виде отдельных графических файлов.

5. Следует ограничиваться общепринятыми сокращениями и избегать введения новых сокращений без достаточных на то 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. Список формируется по алфавиту (сначала источники на русском языке, затем — на английском). 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:

ЛИТЕРАТУРА

- [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. № 2. P. 239—245.

7. Статья должна быть **подписана всеми авторами** (на последней странице) и иметь **визу** (на первой странице) заведующего кафедрой (для сотрудников РУДН) или иного руководителя (директора, декана, заведующего кафедрой или лабораторией — для авторов из сторонних организаций) **с расшифровкой подписи и указанием должности**.

8. В конце статьи необходимо указать фамилию, имя и отчество автора, с которым наиболее целесообразно контактировать по вопросам подготовки статьи к опубликованию, и его координаты (e-mail, номер дом. и раб. телефона).

Отзывы на отклоненные редколлегией статьи не предоставляются, рукописи не возвращаются. Ответственность за содержание статей несут авторы.

Контактная информация: mgmakarova@yandex.ru, 89037823733 Макарова Марина Геннадьевна

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

20829

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН

**Серия «Экология
и безопасность жизне-
деятельности»**

Количество
комплектов:

на 2017 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

ПВ	место	литер

на журнал

20829

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН

**Серия «Экология и безопасность
жизнедеятельности»**

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2017 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

--

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН

Серия _____

Количество комплектов:

--

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на журнал

--

(индекс издания)

ПВ	место	литер

ВЕСТНИК РУДН

Серия _____

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)