

УДК 504.064.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МХОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДСКОГО ОКРУГА ЛОБНЯ

И. З. Каманина^{1,2*}, С. П. Каплина^{1,2}, А. А. Иванова³,
О. В. Анисимова¹

¹ Государственный университет «Дубна» (ул. Университетская, 19, Дубна, Московская область, Россия, 141980), *kamanina@uni-dubna.ru

² Объединенный институт ядерных исследований (ул. Жолио-Кюри, 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980)

³ Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В. Р. Вильямса (Научный городок, 1, Лобня, Московская область, Россия, 141055)

Проведена оценка качества атмосферного воздуха г. о. Лобня по уровню загрязнения тяжелыми металлами 1 (Cd, Pb, Zn) и 2 (Cu, Ni) классов опасности по данным активного биомониторинга. На территории г. о. Лобня на 36 площадках с учетом функционального зонирования в течение трех месяцев экспонировались специальные проницаемые для воздуха мешочки с образцами мха *Sphagnum girgensohnii* Russow, собранного в чистом регионе. Содержание тяжелых металлов определяли методом атомной абсорбции. Для оценки загрязнения атмосферного воздуха рассчитывали относительный коэффициент накопления (ОКН) и коэффициент концентрации (Кс). Получены данные по накоплению тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) в экспонированных мхах. Выявлены участки с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха, дана оценка экологического состояния г. о. Лобня по уровню техногенной нагрузки на атмосферный воздух тяжелыми металлами 1 и 2 классов опасности. Наибольшие показатели Кс и ОКН металлов характерны для транспортной (Стародмитровское шоссе, перекресток Рогачевского и Краснополянского шоссе, перекресток Рогачевского и Букинского шоссе, Краснополянского шоссе, перекресток Краснополянского и Лобненского шоссе) и промышленной (лифтостроительный завод и предприятие по производству металлоконструкций) зон. Выявлены превышения фоновых содержаний ТМ в селитебной и рекреационной зонах вблизи автомобильных дорог и железнодорожных путей. Показана эффективность использования активного биомониторинга при помощи техники «мох в мешках». Результаты представляют интерес для городской администрации при принятии управленческих решений.

Ключевые слова: загрязнение; тяжелые металлы; атмосферный воздух; биомониторинг; мхи; городская среда; Московская область

Для цитирования: Каманина И. З., Каплина С. П., Иванова А. А., Анисимова О. В. Использование мхов для оценки состояния атмосферного воздуха городского округа Лобня // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 99–112. doi: 10.17076/eco2057

I. Z. Kamanina^{1,2*}, S. P. Kaplina^{1,2}, A. A. Ivanova³, O. V. Anisimova¹. USING MOSSES TO ASSESS THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE LOBNYA URBAN DISTRICT

¹Dubna State University (19 Universitetskaya St., 141980 Dubna, Moscow Region, Russia), *kamanina@uni-dubna.ru

²Joint Institute for Nuclear Research (6 Joliot-Curie St., 141980 Dubna, Moscow Region, Russia)

³Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (1 Scientific campus, 141055 Lobnya, Moscow Region, Russia)

The quality of atmospheric air in the Lobnya Urban District was assessed using active biomonitoring methods based on pollution with heavy metals of the 1st (Cd, Pb, Zn) and 2nd (Cu, Ni) hazard classes. Special air-permeable bags containing *Sphagnum girgensohnii* Russow samples collected from a pristine (background) area were exposed for three months at 36 sites situated in different functional zones of the Lobnya Urban District. The content of heavy metals was determined by atomic absorption spectrometry. To assess atmospheric air pollution, the Relative Accumulation Coefficient (RAC) and Concentration Factor (CF) were calculated. Data on the accumulation of heavy metals (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) in the exposed moss samples were obtained. Areas with different levels of atmospheric air pollution were identified, and the ecological situation in the Lobnya Urban District was assessed based on air-borne load of heavy metals of the 1st and 2nd hazard classes. The highest CF and RAC values for the metals were observed in traffic zones (Starodmitrovskoye Highway, intersection of Rogachevskoye and Krasnopolyanskoye Highways, intersection of Rogachevskoye and Bukinskoye Highways, Krasnopolyanskoye Highway, and intersection of Krasnopolyanskoye and Lobnenskoye Highways) and industrial zones (an elevator manufacturing plant and a metal fabrication facility). Background levels of heavy metals were exceeded in residential and recreational zones near roads and railway lines. The study demonstrated the high performance of the “moss bag” technique of active biomonitoring. The results can help the city administration make informed urban management decisions.

Keywords: pollution; heavy metals; atmospheric air; biomonitoring; mosses; urban environment; Moscow Region

For citation: Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Ivanova A. A., Anisimova O. V. Using mosses to assess the state of atmospheric air in the Lobnya Urban District. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 99–112. doi: 10.17076/eco2057

Введение

Качество городской среды во многом определяется состоянием атмосферного воздуха [Битюкова, Шанин, 2018] и зависит от выбросов промышленных предприятий и автотранспорта.

Городской округ Лобня расположен в 15 км к северу от Московской кольцевой автомобильной дороги, является городом-спутником Москвы с населением на 1 января 2023 г. более 89 тысяч человек. Городской округ характеризуется интенсивным строительством транспортной инфраструктуры и жилых комплексов. Дешифрирование снимков 2014, 2016, 2019 и 2022 гг. со спутников Landsat 8-9, проводившееся авторами при помощи программы QGIS с использованием прямых и косвенных дешифровочных признаков, выявило сокращение

площади лесной растительности на 202,1 га (с 449,4 га в 2014 г. до 247,3 га в 2022 г.). Площадь лесной растительности уменьшается в основном в результате жилищного строительства и развития транспортной сети (магистраль «Северный обход Лобни» и др.).

Промышленность г. о. Лобня представлена такими экономически значимыми отраслями, как электротехническая, машиностроительная, производство строительных материалов, текстильная, пищевая. На территории городского округа расположены многочисленные складские организации [Генеральный...]. Наиболее крупными источниками выбросов являются ЗАО «Лобненский завод строительного фарфора» (75,677 т/год, 35 выбрасываемых веществ) и ЗАО «Краснополянский керамический завод» (70,123 т/год, 25 выбрасываемых веществ).

Промышленные предприятия характеризуются низкой степенью обеспечения газопылеочистным оборудованием. Лобня также является узлом пригородных и грузовых перевозок, в том числе грузоперевозок аэропорта Шереметьево. Объем перевозки пассажиров, зафиксированный на станции Лобня, составил более 50 тысяч чел./сутки [Комплексная...]. Лобня окружена автомобильными дорогами с высокой интенсивностью движения: М-11 «Нева», А-104 «Дмитровское шоссе», А-107 «Московское малое кольцо», А-113 «Центральная кольцевая автомобильная дорога». Автодороги общего пользования имеют протяженность 108 км, из них 1/5 часть – это дороги регионального и федерального значения. Через центральную часть города проходит значительный транзитный поток легкового и грузового автотранспорта. Численность автомобильного парка в г. о. Лобня в 2022 г. составила около 45 тыс. единиц. По данным «Первого центра образовательных услуг» [Комплексная...], интенсивность транспортных потоков в ключевых узлах – более 2000 транспортных средств в час. Ширина зон загазованности вдоль наиболее нагруженных улиц составляет от 40 до 80 м. В 13 км от Лобни расположен Международный аэропорт Шереметьево (МАН). По экологическим отчетам МАН, за 2018–2020 гг. уровень загрязнения не превышал нормативных выбросов, кроме того, наблюдается положительная динамика сокращения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Экологический..., 2020]. В восточной части городского округа расположен памятник природы федерального значения площадью 25,4 га для сохранения природных комплексов оз. Киово и его котловины, а также уникальной колонии озерных чаек, гнездящихся на сплавинах водоема. Вокруг памятника природы образована трехсотметровая охранная зона.

В настоящее время количество контролируемых показателей в атмосферном воздухе населенных пунктов ограничено. Станции мониторинга качества атмосферного воздуха определяют в основном концентрации оксида углерода, диоксида серы, оксида и диоксида азота, взвешенных веществ, формальдегида, фенола и т. д. [Винокуров, 2014; Битюкова, Шанин, 2018]. Мониторинг содержания тяжелых металлов (ТМ) на подавляющем большинстве станций не проводится, а вместе с тем их поступление в окружающую среду в результате техногенной нагрузки постоянно увеличивается. Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году»,

динамика выбросов ТМ в целом по стране имеет положительную тенденцию по сравнению с 2012 г. Сократились объемы выбросов ванадия, кадмия, меди, никеля, ртути, свинца и мышьяка [Государственный..., 2022].

На территории г. о. Лобня контроль состояния атмосферного воздуха стационарными постами не ведется. Ближайшие стационарные посты Росгидромета, осуществляющие такой контроль, расположены в г. Мытищи на расстоянии 19,71 км. На территории Московской области контроль выбросов ТМ в атмосферный воздух не проводится [Информационный..., 2023].

Цель настоящего исследования – оценка состояния атмосферного воздуха г. о. Лобня по содержанию металлов 1–3 классов опасности [СанПиН 1.2.3685-21] по данным биомониторинга с использованием мхов.

Материалы и методы

Преимуществом использования мхов для анализа атмосферных выпадений является выраженное атмосферное питание. Накопление химических элементов во мхах количественно отражает интенсивность аэротехногенного потока [Швецова и др., 2020; Алексеев и др., 2021; Каманина и др., 2021, 2023]. В рамках программы ООН «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе – оценки на основе анализа мхов-биомониторов» в течение 40 лет ведется изучение атмосферных выпадений ТМ, среди которых свинец и кадмий рассматриваются как приоритетные загрязнители атмосферного воздуха [Фронтасьева, 2023]. В системе геоботанического районирования Московской области окрестности г. о. Лобня относятся к району хвойных субнеморальных лесов, на территории которых моховой покров имеет пятнистый характер. В условиях города трудно найти мох, растущий в естественных условиях. В связи с этим на территории г. о. Лобня использовали метод активного биомониторинга при помощи техники «мох в мешках», которую широко используют для изучения загрязнения атмосферного воздуха на урбанизированных территориях во многих странах [Fernández, Carballeira, 2000; Ozaki et al., 2004; Culicov, Dimitrova Yurukova, 2006; Calabrese et al., 2015; Hu et al., 2018; Aničić Urošević et al., 2023]. Данный метод использовался для мониторинга атмосферного воздуха рекреационных зон Москвы и показал хорошие результаты [Швецова и др., 2019, 2020]. Принцип метода заключается в сборе мха в относительно чистом регионе и

экспонировании его на исследуемой территории в специальных проницаемых для воздуха мешочках.

На территории г. о. Лобня по равномерно случайно-упорядоченной сетке с охватом всех функциональных зон города были выделены 36 квадратов со сторонами 1 км (рис. 1). В выделенных квадратах закладывались площадки опробования (экспонирования мха) с учетом функционального зонирования города: в транспортной зоне $n = 7$ (№№ 6, 10, 13, 20, 28, 31, 37), промышленной $n = 10$ (№№ 8, 15–17, 21, 25–27, 36, 40), жилой $n = 12$ (№№ 3, 4, 11, 14, 19, 23, 24, 30, 34, 38, 39, 41) и рекреационной $n = 7$ (№№ 9, 18, 22, 29, 32, 33, 35). В качестве фоновой площадки на территории Лобни выбран район, расположенный на севере городского

округа, испытывающий незначительное антропогенное влияние (микрорайон Луговая, поля лаборатории луговедения и луговодства ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»).

Для экспонирования был выбран мох *Sphagnum girgensohnii* Russow, так как проводившиеся ранее исследования показали целесообразность использования для техники «мох в мешках» мхов рода *Sphagnum* [Calabrese et al., 2015; Швецова и др., 2019; Фронтасьева, 2023]. Эти виды хорошо удерживают воду и обладают высокой катионообменной способностью, быстро накапливают катионы из дождевой воды и сухих выпадений, выделяя взамен ионы водорода. Клеточная стенка мха действует как ионообменник. Мох для экспонирования собран 21 июня 2022 г. в водно-

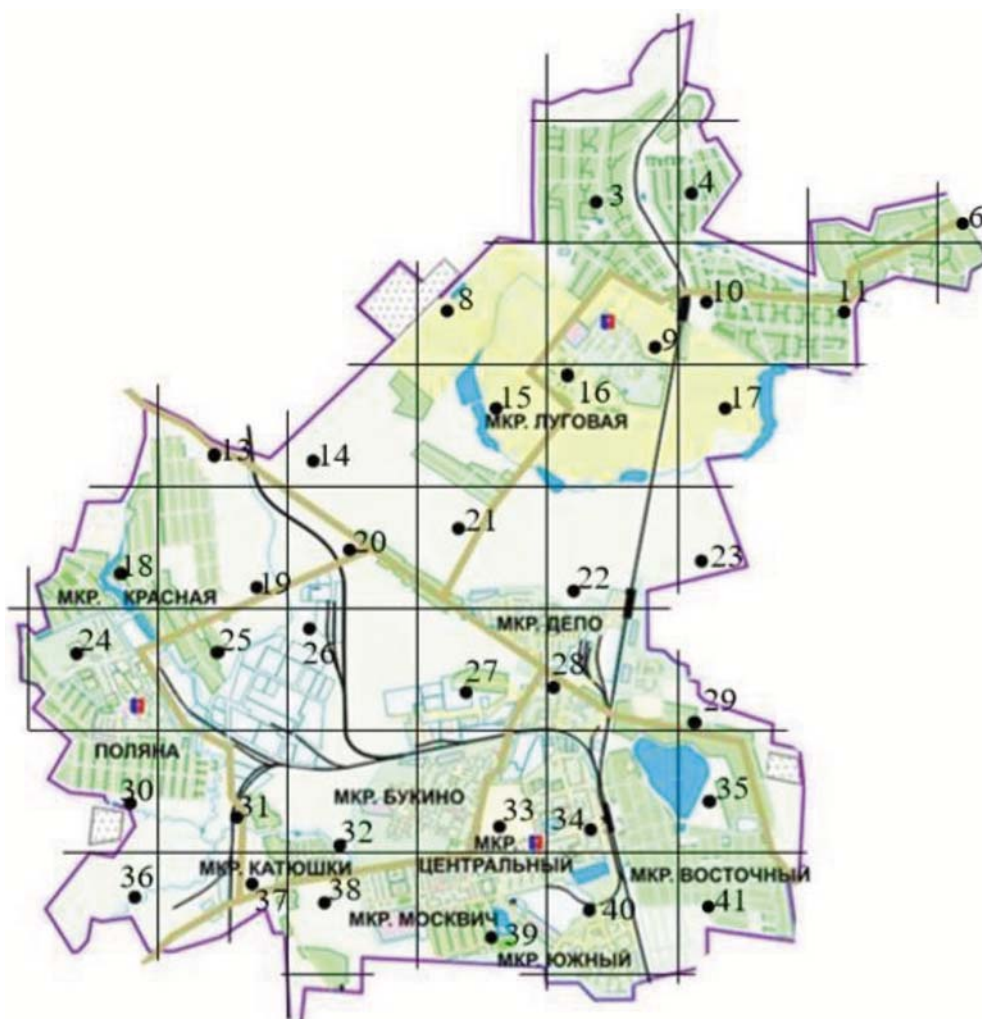


Рис. 1. Карта-схема размещения площадок опробования на территории г. о. Лобня

Fig. 1. Schematic map of the sampling sites location on the territory of the Lobnya Urban District

болотном угодье Тверской области, Конаковский район, Дмитровогорское сельское поселение (56.703269°, 37.072651°), в соответствии с общепринятой методикой [Тяжелые..., 2020]. Собранный мох перебирали и высушивали при температуре 35–40 °С. Для анализа использовали только зеленые сегменты последних трех или двух лет. Затем мох (3–4 г) равномерно распределяли в пронизываемых пакетах размером 10×10 см из сетки из полимерного волокна с ячейкой 1,5 мм. Экспонирование мха проводилось в течение трех месяцев в период с 25 июня по 25 сентября 2022 года. На каждой пробной площадке развесили по три мешочка с мхом, всего 108 мешочков. Для расчетов геохимических показателей была оставлена контрольная проба мха, без экспонирования.

Морфологию поверхности мха изучали при помощи растрового электронного микроскопа Hitachi S-3400N, оснащенного рентгеновским энергодисперсионным спектрометром (EDS Oxford Instruments Aztec).

Перед проведением химического анализа мох изымали из мешочков и гомогенизировали с помощью мельницы с агатовыми камнями. Затем из трех индивидуальных проб для каждой пробной площадки составляли одну объединенную, из которой отбиралась аналитическая проба. Минерализацию образцов проводили в микроволновой системе MC-6, навеска составляла 0,2 г, реактивы: 1 мл H₂O₂; 5 мл HNO₃ (конц.). Содержание ТМ (Pb, Cd, Zn, Cu и Ni) в образцах мха определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Квант-2А» в эколого-аналитической лаборатории кафедры экологии и наук о Земле Государственного университета «Дубна». Математическая обработка измеренных концентраций ТМ во мхах выполнена в программе Microsoft Excel. Визуализация данных произведена в программе Surfer 16.0.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха рассчитаны следующие эколого-геохимические показатели:

1) ОКН – относительный коэффициент накопления: $ОКН = (C_{\text{мох}} - C_{\text{контроль}}) / C_{\text{контроль}}$, где $C_{\text{мох}}$ – концентрация элемента во мхах после экспонирования; $C_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента в контроле (контрольная проба мха, не подверженная экспонированию). Коэффициент ОКН > 1 свидетельствует о значительном накоплении элемента, коэффициент < 0,5 указывает на незначительное накопление [Швецова и др., 2019].

2) Кс – коэффициент концентрации: $Кс = C_{\text{мох}} / C_{\text{контроль}}$, где $C_{\text{мох}}$ – концентрация элемента

во мхах после экспонирования; $C_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента в контроле (контрольная проба мха, не подверженная экспонированию) (табл. 1). По величине Кс принято выделять шесть категорий загрязнения [Fernández, Carballeira, 2020; Алексеенок и др., 2021]: $Кс < 1$ – отсутствие загрязнения; $1 \leq Кс < 2$ – возможное загрязнение; $2 \leq Кс < 3,5$ – слабое загрязнение; $3,5 \leq Кс < 8$ – среднее загрязнение; $8 \leq Кс < 27$ – высокое загрязнение; $Кс \geq 27$ – очень высокое загрязнение.

Таблица 1. Содержание элементов во мхах без экспонирования (контрольная проба), мг/кг

Table 1. The content of elements in mosses without exposure (the control sample), mg/kg

Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
1,30 ± 0,10	0,19 ± 0,01	30,1 ± 0,1	1,73 ± 0,02	2,29 ± 0,08

Результаты и обсуждение

Микрофотографии поверхности мхов, экспонированных на территории г. о. Лобня, представлены на рис. 2. Поверхность мха имеет ячеистую структуру с большим количеством пор от 3 до 8 мкм (рис. 2, а, б). Диагностируются пылеватые частицы и пыльцевые зерна (рис. 2, в, г). Частицы представляют собой как отдельные зерна, так и конгломераты кварца и глинистых минералов.

Содержание элементов во мхах после трех месяцев экспонирования на территории г. о. Лобня представлено в табл. 2.

Содержание свинца во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня, варьирует от 1,30 до 5,79 мг/кг, среднее – 2,78 мг/кг (табл. 2). Содержание свинца во мхах, экспонированных на фоновой площадке (поля лаборатории луговедения и луговодства ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»), составило 3,18 мг/кг. Высокое содержание свинца (выше фоновых значений) выявлено в центральной и юго-западной частях городского округа. Максимальное значение (5,79 мг/кг) отмечено на перекрестке Краснополянского и Лобненского шоссе (рис. 3) в юго-западной части городского округа. Данная территория испытывает нагрузку как от стационарных (завод металлических конструкций «Спецпрокат», лифтостроительный завод), так и от передвижных источников (железнодорожный и автомобильный транспорт).

Содержание кадмия в экспонированных мхах колеблется в диапазоне от 0,34 до 1,97 мг/кг.

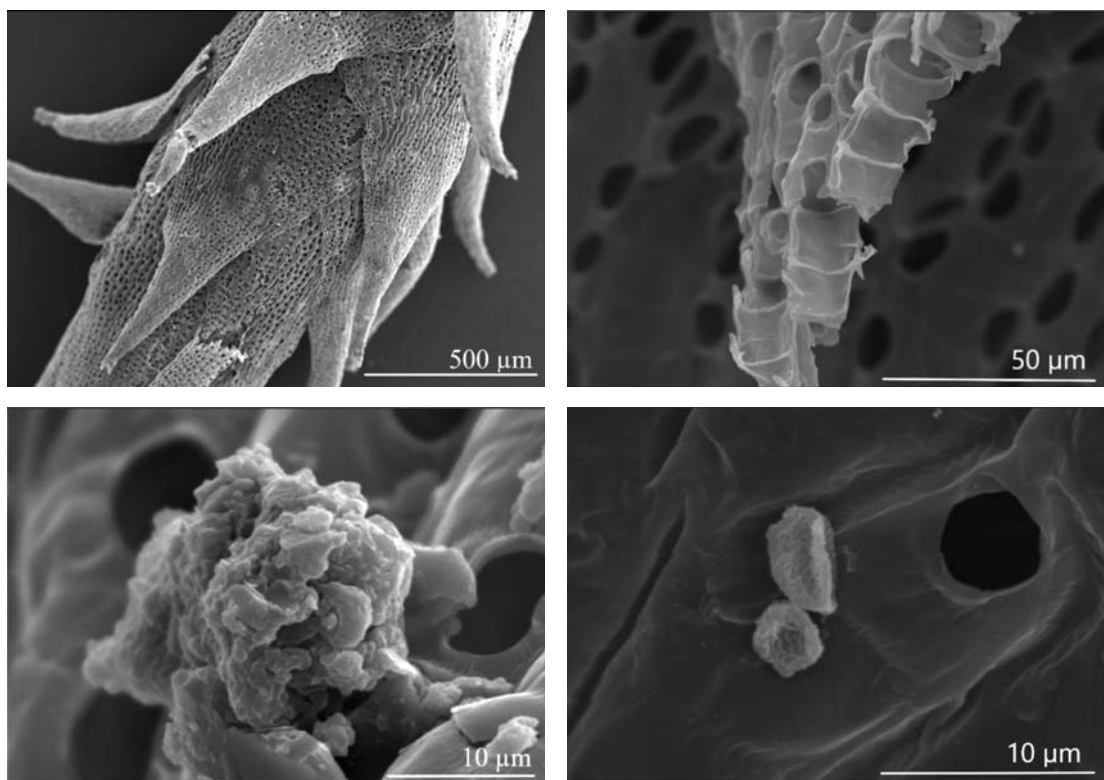


Рис. 2. Поверхность мхов, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 2. The surface of mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Таблица 2. Статистические показатели содержания тяжелых металлов во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня, мг/кг

Table 2. Statistical indicators of heavy metals content in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District, mg/kg

Во всех функциональных зонах, n = 36, P = 0,95 In all functional areas, n = 36, P = 0.95									
Элемент Element	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	2,78	2,90	1,30	5,79	2,50	1,14	0,19	-0,28	-0,47
Cu	5,41	5,14	1,73	8,51	1,81	1,35	0,22	0,01	0,79
Zn	82,7	68,3	34,1	543,2	6665,7	81,6	13,6	5,41	31,09
Ni	4,55	4,00	2,29	10,92	3,72	1,93	0,32	1,34	2,10
Cd	0,72	0,58	0,34	1,97	0,13	0,36	0,06	1,88	3,45
Транспортная, n = 7, P = 0,95 Transport, n = 7, P = 0.95									
	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	2,60	2,90	1,3	5,80	3,65	1,91	0,13	0,21	0,51
Cu	5,95	4,99	4,70	7,79	1,89	1,37	0,10	0,44	-2,44
Zn	70,0	75,6	47,6	93,1	341,6	18,5	1,3	-0,15	-2,17
Ni	4,92	5,03	2,81	8,05	2,94	1,71	0,12	0,88	1,12
Cd	0,73	0,61	0,44	1,21	0,10	0,32	0,02	0,94	-0,94
Промышленная, n = 10, P = 0,95 Industrial, n = 10, P = 0.95									
	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	3,07	3,00	1,30	5,42	2,14	1,46	0,12	-0,54	1,55
Cu	5,61	5,72	1,73	8,51	3,55	1,89	0,16	-0,62	1,08
Zn	71,9	70,1	48,5	105,9	258,0	16,1	1,4	0,81	1,4
Ni	5,00	5,36	2,29	7,97	4,56	2,14	0,18	-0,08	-1,7
Cd	0,74	0,60	0,48	1,44	0,14	0,37	0,03	1,63	1,10

Окончание табл. 2
Table 2 (continued)

Во всех функциональных зонах, n = 36, P = 0,95 In all functional areas, n = 36, P = 0.95									
Элемент Element	Селитебная, n = 12, P = 0,95 Residential, n = 12, P = 0.95								
	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	3,66	2,95	1,30	3,88	2,47	1,57	0,15	-0,51	-1,62
Cu	5,18	5,33	3,22	7,12	1,17	1,08	0,10	-0,10	-0,14
Zn	61,8	58,9	34,1	114,7	442,1	21,0	1,97	1,42	2,99
Ni	4,35	3,85	2,41	10,92	5,69	2,39	0,22	2,19	5,40
Cd	0,77	0,58	0,34	1,97	0,21	0,46	0,04	1,97	3,80
	Рекреационная, n = 7, P = 0,95 Recreational, n = 7, P = 0.95								
	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	2,23	1,71	1,30	4,31	2,36	1,54	0,11	-0,57	-0,59
Cu	4,97	4,77	4,24	6,07	0,48	0,69	0,05	0,74	-0,88
Zn	146,2	75,9	57,8	543,2	31344,5	177,0	12,22	2,52	6,46
Ni	3,92	3,65	3,25	4,93	0,45	0,67	0,05	0,54	-1,68
Cd	0,59	0,56	0,35	0,85	0,03	0,18	0,01	0,42	-0,74

Примечание. \bar{X} – среднее, Med – медиана, Min – минимум, Max – максимум, D – дисперсия, σ – стандартное отклонение, $S_{\bar{X}}$ – ошибка среднего, Ka – асимметрия, E – эксцесс.

Note. \bar{X} – average, Med – median, Min – minimum, Max – maximum, D – dispersion, σ – standard deviation, $S_{\bar{X}}$ – error of the mean, Ka – asymmetry, E – excess.

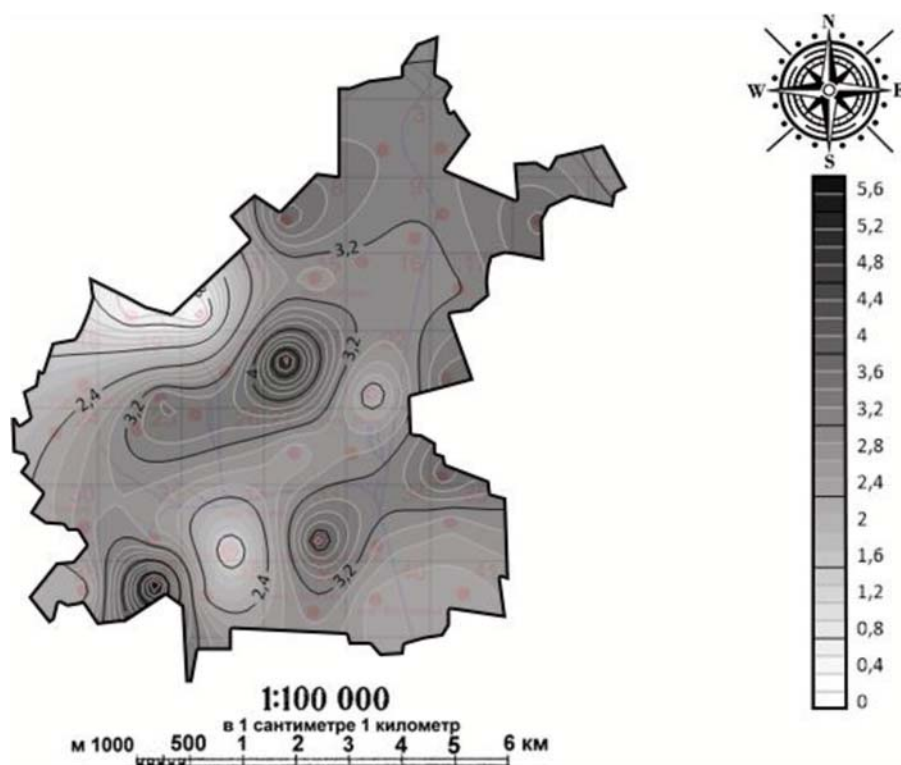


Рис. 3. Карта-схема содержания Pb (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 3. Schematic map of Pb content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Среднее его содержание составляет 0,72 мг/кг, что чуть выше или сопоставимо с фоновым (0,65 мг/кг). Максимальные концентрации выявлены в северной части г. о. Лобня на территории частной застройки (рис. 4). Источниками кадмия могут быть предприятия теплоэнергетики,

транспорта и др. [Теплая, 2013; Фазлыева и др., 2022], использование дров для отопления в частных домовладениях. Максимальное содержание Cd превышает фоновое значение в 2,7 раза, что вызывает тревогу, поскольку этот элемент относится к 1 классу опасности.

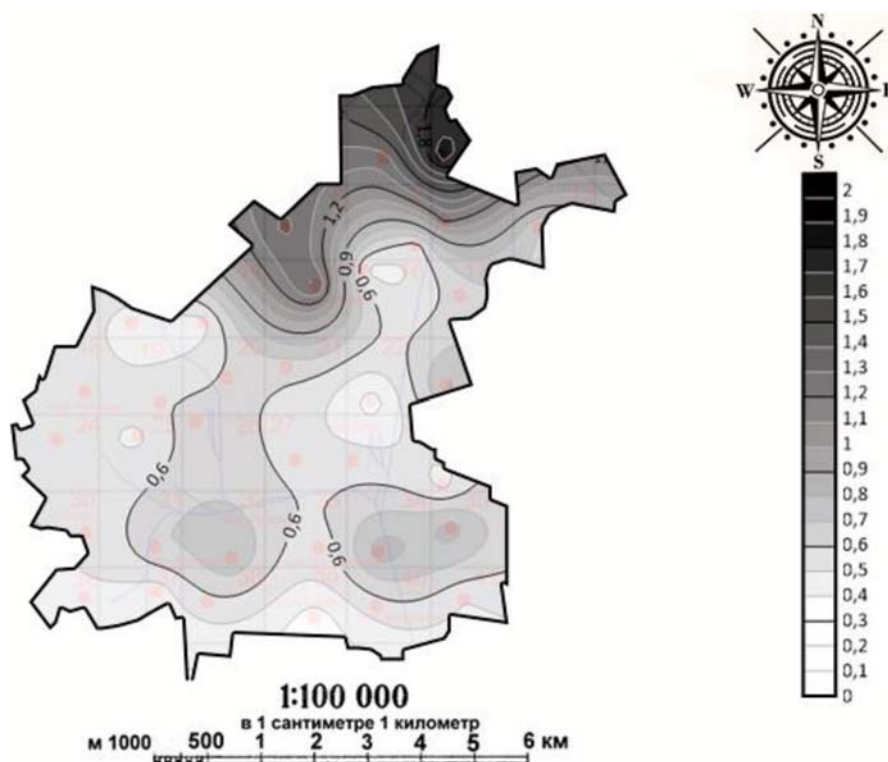


Рис. 4. Карта-схема содержания Cd (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 4. Schematic map of Cd content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Содержание цинка во мхах колеблется в широких пределах от 34,1 до 543,2 мг/кг. Среднее содержание составляет 82,7 мг/кг. Высокое, по сравнению с фоновым (62,7 мг/кг), содержание цинка отмечается на большей части территории городского округа (табл. 2). Аномально высокое накопление цинка (543,2 мг/кг) выявлено в образцах мха, экспонированных на стадионе «Труд», рассматриваемом нами как рекреационная территория (рис. 5). Стадион находится в западной части промышленной зоны микрорайона Красная Поляна. В данном микрорайоне расположено наибольшее количество промышленных предприятий г. о. Лобня. Цинк используется в производстве масляных красок, покрышек, в покрытии металлических конструкций для защиты от коррозии. Источником цинка может быть дорожное покрытие, в котором он также содержится. Цинк может поступать в окружающую среду при истирании автомобильных шин [Теплая, 2013; Иванищев, 2021]. В связи с этим следует обратить особое внимание на качество искусственного покрытия футбольного поля стадиона, изготовленного из каучуковой крошки.

Содержание меди во мхах составляет от 1,73 до 8,51 мг/кг. Среднее содержание

5,41 мг/кг. Во мхах, экспонированных на фоновой территории, содержание меди выше среднего и составляет 5,59 мг/кг. Максимальное накопление отмечается южнее пересечения двух основных магистралей: улицы Чайковского и трассы «Северный обход Лобни». Высокое содержание отмечено в транспортных и промышленных зонах, а также в жилых и рекреационных зонах, расположенных вблизи транспортных магистралей (табл. 2, рис. 6). Медь присутствует в отработанных газах автомобильных двигателей и может поступать в воздух при истирании тормозных колодок.

Содержание никеля в экспонированных мхах варьирует от 2,29 до 10,92 мг/кг (табл. 2), среднее значение 4,5 мг/кг. Максимальное накопление отмечается в западной части городского округа, южнее находится завод металлоконструкций «Эверест», западнее расположены пути ж/д транспорта, с севера – трасса «Северный обход Лобни» (рис. 7). Во мхах, экспонированных в транспортной и промышленной зонах, а также в части жилой зоны, тесно граничащей с транспортной и промышленными зонами (частный сектор микрорайона Красная Поляна, частный сектор вблизи железнодорожного депо и станции Лобня),

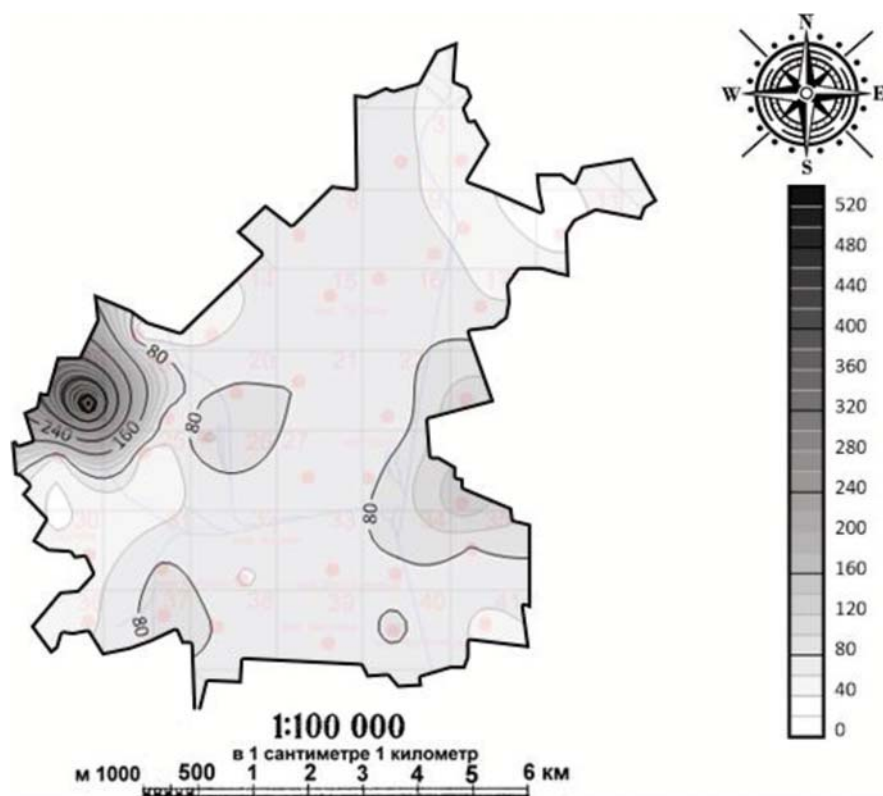


Рис. 5. Карта-схема содержания Zn (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 5. Schematic map of Zn content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

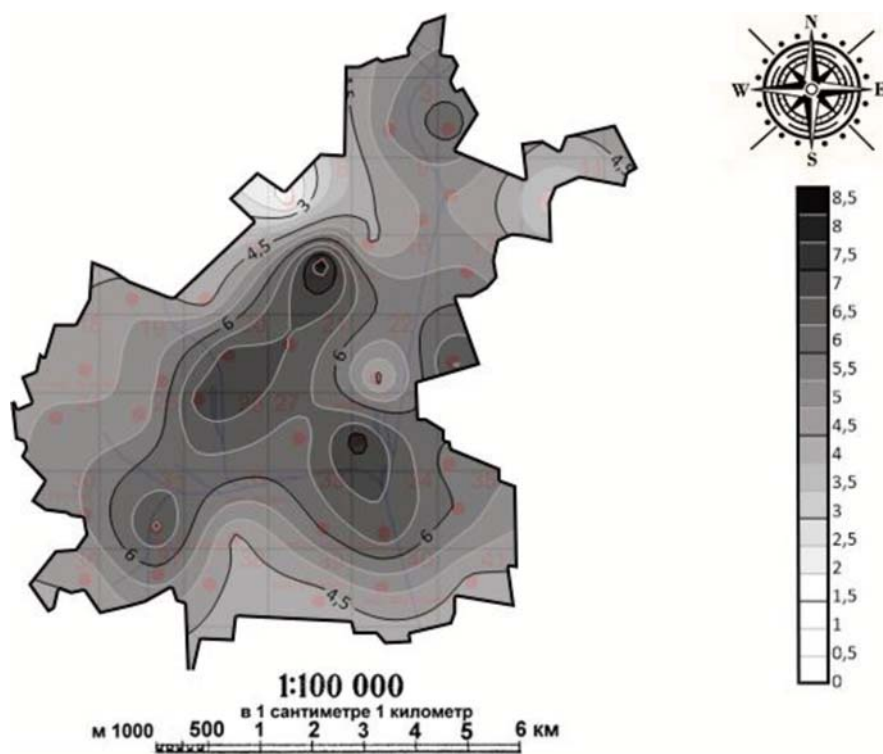


Рис. 6. Карта-схема содержания Cu (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 6. Schematic map of Cu content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

содержание никеля выше по сравнению с фоном (2,36 мг/кг) в 4,6 раза. Источниками загрязнения атмосферного воздуха никелем могут быть транспорт (использование дизельного топлива и мазута), тепловые электростанции и др. [Иванищев, 2022]. Никель является продуктом износа покрытий кузовов, используется в качестве материала для изготовления металлоконструкций. В железнодорожном транспорте используют щелочные никель-железные аккумуляторы.

Как показали расчеты относительного коэффициента накопления тяжелых металлов во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня, значительное накопление Pb (ОКН > 1) отмечается на 78 % обследованной территории (среднее значение ОКН Pb 1,1), Cu – на 94 % (средн. ОКН Cu 2,1), Zn – на 50 % (средн. ОКН Zn 1,4), Ni – на 36 % (средн. ОКН Ni 1,0) и Cd – на 33 % (средн. ОКН Cd 1,1).

По величине коэффициента концентрации, рассчитанного относительно контрольной пробы мха, не подверженной экспонированию (рис. 8), среднее загрязнение свинцом выявлено в промышленной функциональной зоне (площадка № 21) – Кс 3,5. Более половины обследованной территории (53 %) соответствует

слабому загрязнению, остальная ее часть – возможному загрязнению атмосферного воздуха свинцом. Коэффициент концентрации кадмия на 67 % исследуемой территории указывает на возможное загрязнение, на 19 % – на слабое загрязнение и на 14 % – на среднее загрязнение. Наибольшее загрязнение кадмием отмечено в северной части г. о. Лобня. Коэффициент концентрации цинка указывает на возможное загрязнение этим элементом 50 % территории городского округа. Высокое загрязнение цинком (Кс 15,9) отмечается на стадионе «Труд» (площадка № 18). Среднее загрязнение (Кс 4,1) выявлено также в рекреационной зоне (площадка № 29). На остальной территории Кс цинка соответствует слабому (50 %) и возможному (42 %) загрязнению. Коэффициент концентрации меди в экспонированных мхах указывает на слабое загрязнение на большей части (67 %) обследуемой территории, остальная территория (28 %) испытывает среднее загрязнение. Коэффициент концентрации никеля на большей части городского округа указывает на возможное (64 % территории) и слабое (31 %) загрязнение. И только на 6 % территории выявлено среднее загрязнение. По данным активного биомониторинга, средние значения

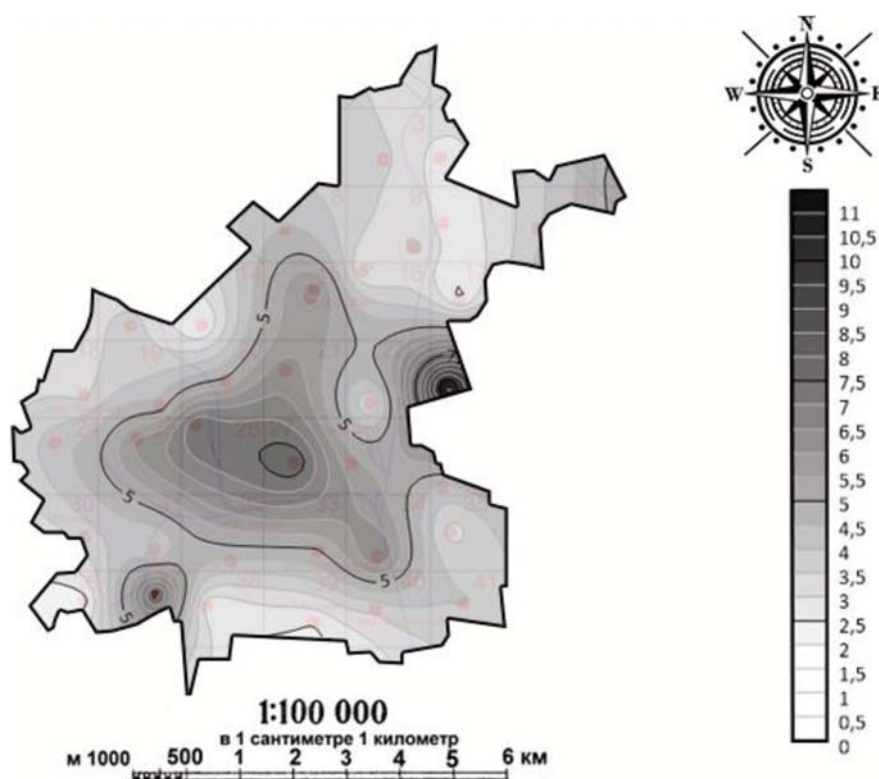


Рис. 7. Карта-схема содержания Ni (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 7. Schematic map of Ni content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

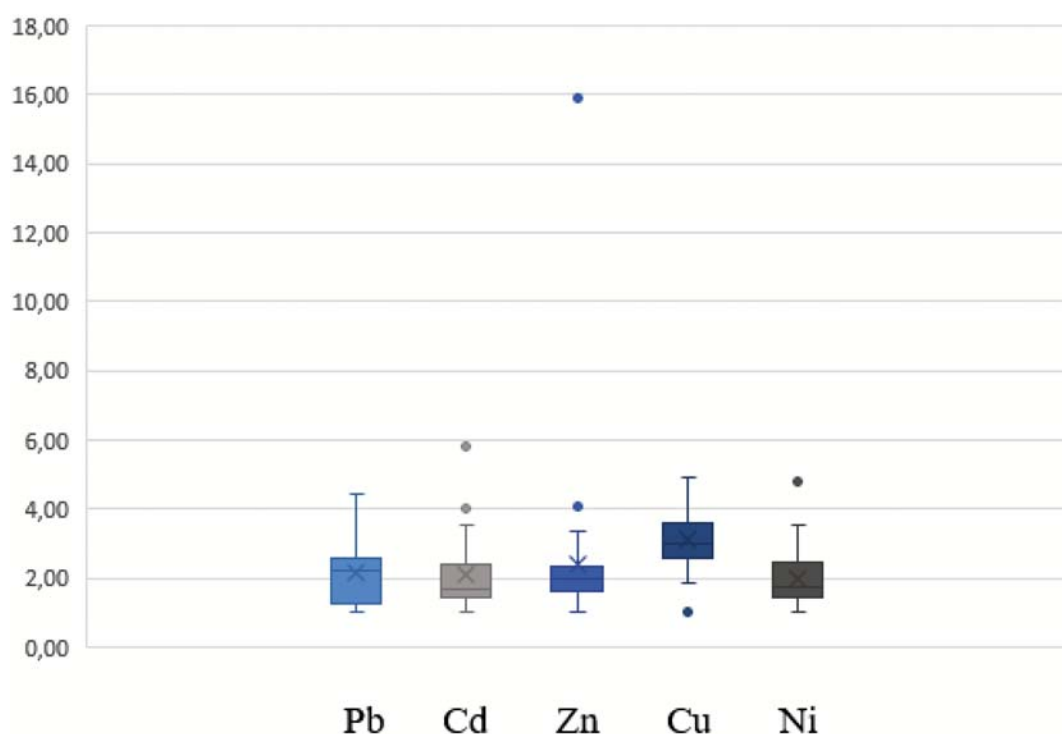


Рис. 8. Коэффициент концентрации тяжелых металлов во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 8. Contamination factor of heavy metals in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Кс меди, никеля и цинка соответствуют средним значениям, полученным для урбанизированных территорий Европы [Culicov, Dimitrova Yurukova, 2006; Anićić Urošević et al., 2023].

Анализ накопления ТМ во мхах с учетом функционального зонирования выявил, что наибольшие показатели ОКН и Кс металлов характерны для транспортной (Стародмитровское шоссе, перекресток Рогачевского и Краснополянского шоссе, перекресток Рогачевского и Букинского шоссе, Краснополянского шоссе, перекресток Краснополянского и Лобненского шоссе) и промышленной зон. Выявлены превышения фоновых содержаний ТМ в селитебной и рекреационной зонах вблизи автомобильных дорог и железнодорожных путей. Влияние автотранспорта нельзя определить в четких границах функциональных зон, в связи с этим автотранспорт оказывает существенное влияние на экологическое состояние г. о. Лобня во всех функциональных зонах. В состав отработанных газов автомобиля входит около 200 загрязняющих веществ, среди которых целый ряд ТМ. Тяжелые металлы поступают в окружающую среду с продуктами разрушения тормозных колодок, автомобильных шин и дорожного полотна. В отработанных газах автомобилей, работающих на бензине, содержится свинец,

ванадий и кобальт, на дизельном топливе – ванадий, медь, никель, хром [Ozaki et al., 2004; Теплая, 2013].

Заключение

Анализ состояния атмосферного воздуха по содержанию тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni), проведенный с использованием техники «мох в мешках», позволил выявить на территории г. о. Лобня участки с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и дать оценку экологического состояния по уровню техногенной нагрузки ТМ на атмосферный воздух.

Основные ореолы загрязнения тяжелыми металлами отмечаются в зоне влияния лифто-строительного завода и предприятий по производству металлоконструкций. Кроме того, определенный вклад вносят передвижные источники (автомобильный и ж/д транспорт). Лобня является городом-спутником Москвы и важным транспортным узлом на севере столицы. Сокращение лесных насаждений почти в два раза за последние десять лет снижает защитный потенциал лесопаркового защитного пояса Москвы. Уровень антропогенной нагрузки на компоненты окружающей среды

будет возрастать, и это необходимо учитывать при проектировании и создании городской инфраструктуры.

Полученные результаты представляют интерес для принятия своевременных управленческих решений, направленных на создание безопасной, комфортной среды для проживания и хозяйственной деятельности на территории г. о. Лобня.

Литература

- Алексеев Ю. В., Вергель К. Н., Юшин Н. С. Оценка уровней загрязнения Республики Беларусь атмосферными выпадениями тяжелых металлов с использованием биоиндикации // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 43–50. doi: 10.17513/use.37697
- Битюкова В. Р., Шанин С. И. Атмосферное загрязнение в средних городах России // Региональные исследования. 2018. № 1(59). С. 144–155.
- Винокуров М. В. Современное состояние контроля загрязнения атмосферного воздуха населенных мест // Гигиена и санитария. 2014. № 5. С. 29–33.
- Генеральный план городского округа Лобня Московской области от 2024 года. Т. II. Охрана окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--90athc1g.xn--p1ai/sflife/building/genplan.php> (дата обращения: 10.12.2025).
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021. (дата обращения: 17.09.23).
- Иванищев В. В. Никель в окружающей среде и его влияние на растения // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2021. Вып. 2. С. 38–53.
- Иванищев В. В. Цинк в природе и его значение для растений // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. Вып. 2. С. 35–49. doi: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49
- Информационный выпуск о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2022 году. Красногорск. 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://mer.mosreg.ru/download/document/12181217> (дата обращения: 20.05.2024).
- Каманина И. З., Каплина С. П., Виноградов И. И., Чигоева Д. Н. Изучение поверхности мхов-биомониторов в условиях разной техногенной нагрузки // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 4. С. 5–12.
- Каманина И. З., Каплина С. П., Густова М. В., Чигоева Д. Н., Виноградов И. И. Анализ атмосферных выпадений на территории республики Северная Осетия-Алания по данным биомониторинга // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. № 1(66). С. 157–168. doi: 10.18470/1992-1098-2023-1-157-168
- Комплексная схема организации дорожного движения городского округа Лобня // Первый центр образовательных услуг [Электронный ресурс]. URL: https://dmp62.ru/useruploads/files/prezentatsii/ss_%20KSODD-Lobnya.pdf (дата обращения: 10.12.2025).
- СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями на 30 декабря 2022 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 02.10.2022).
- Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 1(23). С. 182–192.
- Тяжелые металлы, азот и стойкие органические загрязнители (СОЗ) в европейских мхах: одновременный сбор мхов в 2020 г. Пособие по мониторингу [Электронный ресурс]. URL: <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/MOSS-MANUAL-RUS%20-2020-final.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).
- Фазлыева А. С., Даукаев Р. А., Каримов Д. О. Влияние кадмия на здоровье населения и способы профилактики его токсических эффектов // Медицина труда и экология человека. 2022. № 1. С. 220–235. doi: 10.24411/2411-3794-2022-10115
- Фронтасьева М. В. О Программе Организации Объединенных Наций «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе – оценки на основе анализа мхов-биомониторов» // Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева. Сер. Химия. География. Экология. 2023. № 143(2). С. 23–35. doi: 10.32523/2616-6771-2023-143-2-23-35
- Швецова М. С., Каманина И. З., Мададзада А. И., Нехорошков П. С., Юшин Н. С., Зиньковская И. И., Павлов С. С., Фронтасьева М. В. Определение следовых элементов (Cu, Sb, Pb, V, Zn) на территории рекреационных зон Москвы с помощью техники «мох в мешках» // Успехи современного естествознания. 2020. № 8. С. 74–82. doi: 10.17513/use.37461
- Швецова М. С., Каманина И. З., Фронтасьева М. В., Мададзада А. И., Зиньковская И. И., Павлов С. С., Вергель К. Н., Юшин Н. С. Применение активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках» на территории музея-заповедника «Царицыно» // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». Сер. Естественные и инженерные науки. 2019. № 1(42). С. 68–75.
- Экологический отчет акционерного общества «Международный аэропорт Шереметьево» за 2020 год [Электронный ресурс]. URL: <https://www.svo.aero/bitrix/upload/sprint.editor/5a9/5a938a543baa0ca52b4122167b234449b.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).
- Anićić Urošević M., Lazo P., Staflov T., Nečemer M., Bačeva Andonovska K., Balabanova B., Hristozova G., Papagiannis S., Stihi C., Suljkanović M., Špirić Z., Vasilić V., Vogel-Mikuš K. Active biomonitring of potentially toxic elements in urban air by two distinct moss species and two analytical techniques: a pan-Southeastern European study // Air Qual. Atmos. Health. 2023. Vol. 16. P. 595–612. doi: 10.1007/s11869-022-01291-z
- Calabrese S., D'Alessandro W., Bellomo S., Brusca L., Martin R. S., Saiano F., Parello F. Characterization of the Etna volcanic emissions through an

active biomonitoring technique (moss-bags): Part 1 – Major and trace element composition // *Chemosphere*. 2015. Vol. 119. P. 1447–1455. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.086

Culicov O. A., Dimitrova Yurukova L. Comparison of element accumulation of different moss- and lichen-bags, exposed in the city of Sofia (Bulgaria) // *J. Atmos. Chem.* 2006. Vol. 55(1). P. 1–12. doi: 10.1007/s10874-005-9002

Fernández J. A., Carballeira A. Evaluation of contamination, by different elements, in terrestrial mosses // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2000. Vol. 40. P. 461–466. doi: 10.1007/s002440010198

Ozaki H., Watanabe I., Kuno K. Investigation of the heavy metal sources in relation to automobiles // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2004. Vol. 157. P. 209–223. doi: 10.1023/B:WATE.0000038897.63818.f7

Hu R., Yan Y., Zhou X., Wang Y., Fang Y. Monitoring heavy metal contents with *Sphagnum junghuhnianum* moss bags in relation to traffic volume in Wuxi, China // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. Vol. 15. P. 374. doi: 10.3390/ijerph15020374

References

Alekseenok Yu. V., Vergel' K. N., Yushin N. S. Assessment of pollution levels in the Republic of Belarus by atmospheric fallout of heavy metals using bio-indication. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2021;10:43–50. (In Russ.). doi: 10.17513/use.37697

Aničić Urošević M., Lazo P., Staflor T., Nečemer M., Bačeva Andonovska K., Balabanova B., Hristozova G., Papagiannis S., Stihl C., Suljkanović M., Špirić Z., Vassilatou V., Vogel-Mikuš K. Active biomonitoring of potentially toxic elements in urban air by two distinct moss species and two analytical techniques: a pan-Southeastern European study. *Air Qual. Atmos. Health*. 2023. Vol. 16. P. 595–612. doi: 10.1007/s11869-022-01291-z

Bitukova V. R., Shanin S. I. Air pollution in mid-size cities of Russia. *Regional'nye issledovaniya = Regional Studies*. 2018;1(59):144–155. (In Russ.)

Calabrese S., D'Alessandro W., Bellomo S., Brusca L., Martin R. S., Saiano F., Parelo F. Characterization of the Etna volcanic emissions through an active biomonitoring technique (moss-bags): Part 1 – Major and trace element composition. *Chemosphere*. 2015. Vol. 119. P. 1447–1455. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.086

Comprehensive scheme for organizing traffic in the Lobnya Urban District. *Pervyi tsentr obrazovatel'nykh uslug = First center for educational services*. (In Russ.). URL: https://dmp62.ru/useruploads/files/prezentatsii/ss_%20KSODD-Lobnya.pdf (accessed: 10.12.2025).

Culicov O. A., Dimitrova Yurukova L. Comparison of element accumulation of different moss- and lichen-bags, exposed in the city of Sofia (Bulgaria). *J. Atmos. Chem.* 2006. Vol. 55(1). P. 1–12. doi: 10.1007/s10874-005-9002

Environmental report of JSC Sheremetyevo International Airport for 2020. URL: <https://www.svo.aero/>

<bitrix/upload/sprint.editor/5a9/5a938a543baa0ca52b4122167b23449b.pdf> (accessed: 20.05.2022).

Fazlyeva A. S., Daukaev R. A., Karimov D. O. The influence of cadmium on the health of the population and methods of preventing its toxic effects. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka = Occupational Medicine and Human Ecology*. 2022;1:220–235. (In Russ.). doi: 10.24411/2411-3794-2022-10115

Fernández J. A., Carballeira A. Evaluation of contamination, by different elements, in terrestrial mosses. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2000. Vol. 40. P. 461–466. doi: 10.1007/s002440010198

Frontas'eva M. V. On the United Nations program *Atmospheric deposition of heavy metals in Europe – assessment based on the analysis of moss biomonitors*. *Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta imeni L. N. Gumileva. Ser. Khimiya. Geografiya. Ekologiya = Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. 2023;143 (2):23–35. (In Russ.). doi: 10.32523/2616-6771-2023-143-2-23-35

Heavy metals, nitrogen and persistent organic pollutants (POPs) in European mosses: simultaneous collection of mosses in 2020. A monitoring manual. (In Russ.). URL: <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/MOSS-MANUAL-RUS%20-2020-final.pdf> (accessed: 05.20.2022).

Hu R., Yan Y., Zhou X., Wang Y., Fang Y. Monitoring heavy metal contents with *Sphagnum junghuhnianum* moss bags in relation to traffic volume in Wuxi, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. Vol. 15. P. 374. doi: 10.3390/ijerph15020374

Information release on the state of natural resources and the environment of the Moscow Region in 2022. Krasnogorsk; 2023. (In Russ.). URL: <https://mep.mosreg.ru/download/document/12181217> (accessed: 05.20.2024).

Ivanishchev V. V. Nickel in the environment and its impact on plants. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle = Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2021;2: 38–53. (In Russ.)

Ivanishchev V.V. Zinc in nature and its significance for plants. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle = Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2022;2:35–49. (In Russ.). doi: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49

Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Vinogradov I. I., Chigoeva D. N. Study of the surface of moss-biomonitoring under different technogenic loads. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki = Scientific Review. Biological Sciences*. 2021;4:5–12. (In Russ.)

Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Gustova M. V., Chigoeva D. N., Vinogradov I. I. Analysis of atmospheric fallout on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania according to biomonitoring data. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: Ecology, Development*. 2023;18(1-66):157–168. (In Russ.). doi: 10.18470/1992-1098-2023-1-157-168

Master plan for the urban district of Lobnya, Moscow Region. Vol. II. Environmental protection. (In Russ.). URL: <https://xn--90athc1g.xn--p1ai/sflife/building/genplan.php> (accessed: 10.12.2025).

Ozaki H., Watanabe I., Kuno K. Investigation of the heavy metal sources in relation to automobiles. *Water,*

Air, and Soil Pollution. 2004. Vol. 157. P. 209–223. doi: 10.1023/B:WATE.0000038897.63818.f7

SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans (as amended on December 30, 2022). (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed: 02.10.2025).

Shvetsova M. S., Kamanina I. Z., Frontas'eva M. V., Madadzada A. I., Zin'kovskaya I. I., Pavlov S. S., Vergel' K. N., Yushin N. S. Active biomonitoring using the moss bag technique on the territory of the Tsaritsyno Museum-Reserve. *Vestnik Mezhdunarodnogo universiteta prirody, obshchestva i cheloveka «Dubna». Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki = Bulletin of the Dubna International University of Nature, Society and Man. Natural and Engineering Sciences Series*. 2019;1(42):68–75. (In Russ.)

Shvetsova M. S., Kamanina I. Z., Madadzada A. I., Nekhoroshkov P. S., Yushin N. S., Zin'kovskaya I. I., Pavlov S. S., Frontas'eva M. V. Defining trace ele-

ments (Cu, Sb, Pb, V, Zn) on the territory of recreational areas of Moscow using the moss bag technique. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2020;8:74–82. (In Russ.). doi: 10.17513/use.37461

State report *On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2021*. (In Russ.) URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021 (accessed: 17.09.23).

Teplaya G. A. Heavy metals as a factor in environmental pollution (a literature review). *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya = Astrakhan Bulletin of Environmental Education*. 2013;1(23):182–192. (In Russ.)

Vinokurov M. V. Current state of control of atmospheric air pollution in populated areas. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2014;5:29–33. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 23.01.2025; принята к публикации / accepted: 21.10.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Каманина Инна Здиславовна

канд. биол. наук, доцент

e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Каплина Светлана Петровна

канд. биол. наук, доцент

e-mail: sv_kap@mail.ru

Иванова Алина Александровна

канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

e-mail: alinkaiv85@mail.ru

Анисимова Ольга Витальевна

канд. геол.-мин. наук, и. о. заведующего кафедрой экологии и наук о Земле

e-mail: anisimova@uni-dubna.ru

CONTRIBUTORS:

Kamanina, Inna

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor

Kaplina, Svetlana

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor

Ivanova, Alina

Cand. Sci. (Agr.), Senior Researcher

Anisimova, Olga

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Head of the Department of Ecology and Earth Sciences