

УДК 504.06(470-25)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛЕДОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (CU, SB, PB, V, ZN) НА ТЕРРИТОРИИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН МОСКВЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНИКИ «МОХ В МЕШКАХ»

^{1,2}Швецова М.С., ^{1,2}Каманина И.З., ^{1,3}Мададзада А.И., ¹Нехорошков П.С.,
¹Юшин Н.С., ^{1,4}Зиньковская И.И., ¹Павлов С.С., ¹Фронтасьева М.В.

¹Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, e-mail: mks@nf.jinr.ru,
p.nekhoroshkov@gmail.com, ynik_62@mail.ru, pavlov@nf.jinr.ru, marina@nf.jinr.ru;

²Государственный университет «Дубна», Дубна, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru;

³Национальный центр ядерных исследований, Баку, e-mail: a.i.madadzada@gmail.com;

⁴Национальный институт исследований и разработок в области физики
и ядерной инженерии им. Хория Хулубей, Мэгуреле, e-mail: zinikovskaia@mail.ru

Мониторинг качества атмосферного воздуха является необходимым мероприятием на территории городов. Выбросы промышленных предприятий и автотранспорта сильно влияют на качество воздуха. Опасность представляет загрязнение тяжелыми металлами, которые способны накапливаться в организме человека. Контроль содержания металлов в атмосферном воздухе на территории городов в основном не ведется из-за сложного процесса отбора и анализа проб. Экологический мониторинг парковых и особо охраняемых природных территорий должен проводиться качественно и на регулярной основе, поскольку они выполняют рекреационную роль. В качестве альтернативного метода биомониторинга используется техника «мох в мешках», которая является экономичным и простым способом оценки загрязнения воздуха тяжелыми металлами. Для проведения исследования был выбран мох *Sphagnum girgensohnii*, собранный в Тверской области, обладающий хорошими аккумулятивными способностями. Цель данной работы состояла в оценке загрязнения атмосферного воздуха рекреационных зон Москвы следовыми элементами Cu, Sb, Pb, V и Zn. Для проведения эксперимента были выбраны семь парков наиболее популярных и посещаемых в Москве: «Царицыно», «Парк Победы», «Кузьминки-Люблино», «Останкино», «Измайлово», «Лосиный остров» и «Сокольники». Концентрации Sb, V и Zn в образцах определяли с помощью инструментального нейтронного активационного анализа, концентрации Pb и Cu – методом атомной абсорбционной спектрометрии. Увеличение концентраций Cu, Sb, Pb, V и Zn в образцах мха за время экспонирования говорит о наличии антропогенного загрязнения атмосферного воздуха. Данная методика рекомендуется к применению совместно с государственной системой мониторинга атмосферного воздуха на территории городов.

Ключевые слова: активный биомониторинг, *Sphagnum girgensohnii*, нейтронный активационный анализ, атомная абсорбция, рекреационные зоны

DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS (CU, SB, PB, V, ZN) IN THE TERRITORY OF RECREATION ZONES OF MOSCOW USING THE «MOSS BAGS» TECHNIQUE

^{1,2}Shvetsova M.S., ^{1,2}Kamanina I.Z., ^{1,3}Madadzada A.I., ¹Nekhoroshkov P.S.,
¹Yushin N.S., ^{1,4}Zinikovskaya I.I., ¹Pavlov S.S., ¹Frontaseva M.V.

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, e-mail: mks@nf.jinr.ru, p.nekhoroshkov@gmail.com,
ynik_62@mail.ru, pavlov@nf.jinr.ru; marina@nf.jinr.ru;

²State University «Dubna», Dubna, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru;

³National Nuclear Research Centre, Baku, e-mail: a.i.madadzada@gmail.com;

⁴Khorja Khulubei National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering,
Magurele, e-mail: zinikovskaia@mail.ru

Monitoring of air quality is a necessary undertaking in urban areas. Emissions from industrial activity and vehicles strongly affect air quality. A particularly serious hazard represents pollution with heavy metals that can accumulate in the human body. Monitoring of the content of metals in the atmospheric air in urban areas is generally not carried out due to the complex process of sampling and analysis of samples. Environmental monitoring on the territory of parks and protected zones should be carried out efficiently and on a regular basis, since they play a recreational role. As an alternative method of biomonitoring, the «moss bags» technique, which is cost-effective and simple method of air pollution with heavy metals is used. The moss *Sphagnum girgensohnii*, collected in Tver region, characterized with a good accumulative capacity was chosen in the present study. The goal of this study is assessment of air pollution with trace elements Cu, Sb, Pb, V and Zn in the recreational zones of Moscow. For the experiment were chosen seven parks of the most popular and visited in Moscow: Tsaritsyno, Victory Park, Kuzminki-Lublino, Ostankino, Izmailovo, Elk Island and Sokolniki. The concentrations of Sb, V and Zn in the moss samples were determined by instrumental neutron activation analysis, while concentration of Pb and Cu by atomic absorption spectrometry. Increase of the concentration of Cu, Sb, Pb, V and Zn in moss samples during exposure period indicates on anthropogenic pollution of atmospheric air. The technique is recommended for implementation along with the State monitoring system of atmospheric air in urban areas.

Keywords: active biomonitoring, *Sphagnum girgensohnii*, neutron activation analysis, atomic absorption, recreational zones

Атмосферный воздух на территории крупных городов подвержен антропогенному воздействию за счет выбросов промышленных предприятий и автотранспорта [1]. Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году», качество воздуха в городах постепенно улучшается, но по ряду показателей по-прежнему остается неудовлетворительным. Отбор проб воздуха и их анализ является сложным процессом, поэтому контроль над содержанием металлов в воздухе, как правило, не ведется. Среди загрязняющих веществ тяжелые металлы (ТМ) занимают особое место, поскольку они являются токсичными и могут накапливаться в организме. ТМ поступают в окружающую среду при добыче полиметаллических руд, с автомобильными выхлопами, при использовании химикатов в сельском хозяйстве. Источниками ТМ также являются металлургические предприятия, электростанции, работающие на угле, и др. В данной работе рассмотрено загрязнение атмосферного воздуха следовыми элементами, большая часть которых, согласно классификации Дж. Вуда, является токсичными (Cu, Pb, Sb, Zn). К первому классу опасности относятся Pb и Zn, Cu и Sb – ко второму и V – к третьему. При этом представляет опасность возможность переноса ТМ на большие расстояния от источника загрязнения.

Контроль за загрязнением воздуха на территории столицы ведется Московской системой мониторинга атмосферного воздуха, созданной в 1996 г. по решению Правительства Москвы и насчитывающей в настоящий момент 56 автоматических станций. На данных станциях контроль за содержанием тяжелых металлов в воздухе не ведется. Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) на территории Москвы осуществляет контроль загрязнения воздуха на 16 станциях, на четырех станциях данной сети ведется контроль за содержанием в воздухе Pb, Ni, Cu, Fe, Mn, Cr, Zn, Cd и Co. Расположение станций сети «Центрального УГМС» представлено на рис. 1. Количество измерений и контролируемых элементов ограничено высокой стоимостью и трудоемкостью отбора и анализа проб.

С 1960 г. стал развиваться метод определения атмосферных выпадений тяжелых металлов с использованием наземных мхов-биомониторов. Данный метод используется для рутинного биомониторинга в скан-

динавских странах, широко применяется в странах западной Европы в рамках программы ООН по воздуху Европы (<https://icrvegetation.ceh.ac.uk/>). На территории России исследования проводились в северо-западных регионах, в промышленных районах Урала, и в Центральной России. Метод основан на сборе наземных мхов на исследуемой территории для проведения аналитических измерений. Однако для оценки атмосферных выпадений тяжелых металлов на территории Москвы он не подходит, поскольку даже в парковых и особо охраняемых природных зонах мох зачастую отсутствует.

В 1971 г. Гудман и Робертс предложили использовать технику «мох в мешках», которая заключается в сборе мха в относительно чистом (фоновом регионе) и экспонировании его на исследуемой территории в специальных проницаемых для воздуха мешочках. Технику «мох в мешках» использовали для изучения загрязнения атмосферного воздуха в Азербайджане, Италии, Румынии [2–4]. Изучение атмосферных выпадений с помощью данной техники проводили на территории Молдовы, Испании, Китая [5–7]. Больше всего исследований с использованием данной техники было проведено на территории Сербии [8–10]. Накопление элементов в экспонированном мхе зависит от условий окружающей среды, климата и периода проведения эксперимента. Элементы, поступающие в растворенном или взвешенном виде с осадками, могут быть задержаны в результате физико-химических процессов (ионный обмен), пассивного и активного внутриклеточного поглощения [8]. Техника «мох в мешках» является наиболее дешевой и простой в использовании. Не требует электропитания и другого специального обслуживания. Сбор мха и его пробоподготовка перед проведением эксперимента значительно проще существующих методов контроля загрязнения воздуха. Также преимущество данной техники в возможности выбора исследуемой территории, количества исследуемых точек, выборе времени экспонирования. Техника «мох в мешках» позволяет изучить территорию, на которой провести пассивный биомониторинг невозможно из-за отсутствия мха. Применение техники «мох в мешках» совместно с методом инструментального нейтронного активационного анализа позволяет определить большое количество (около 55) химических элементов.

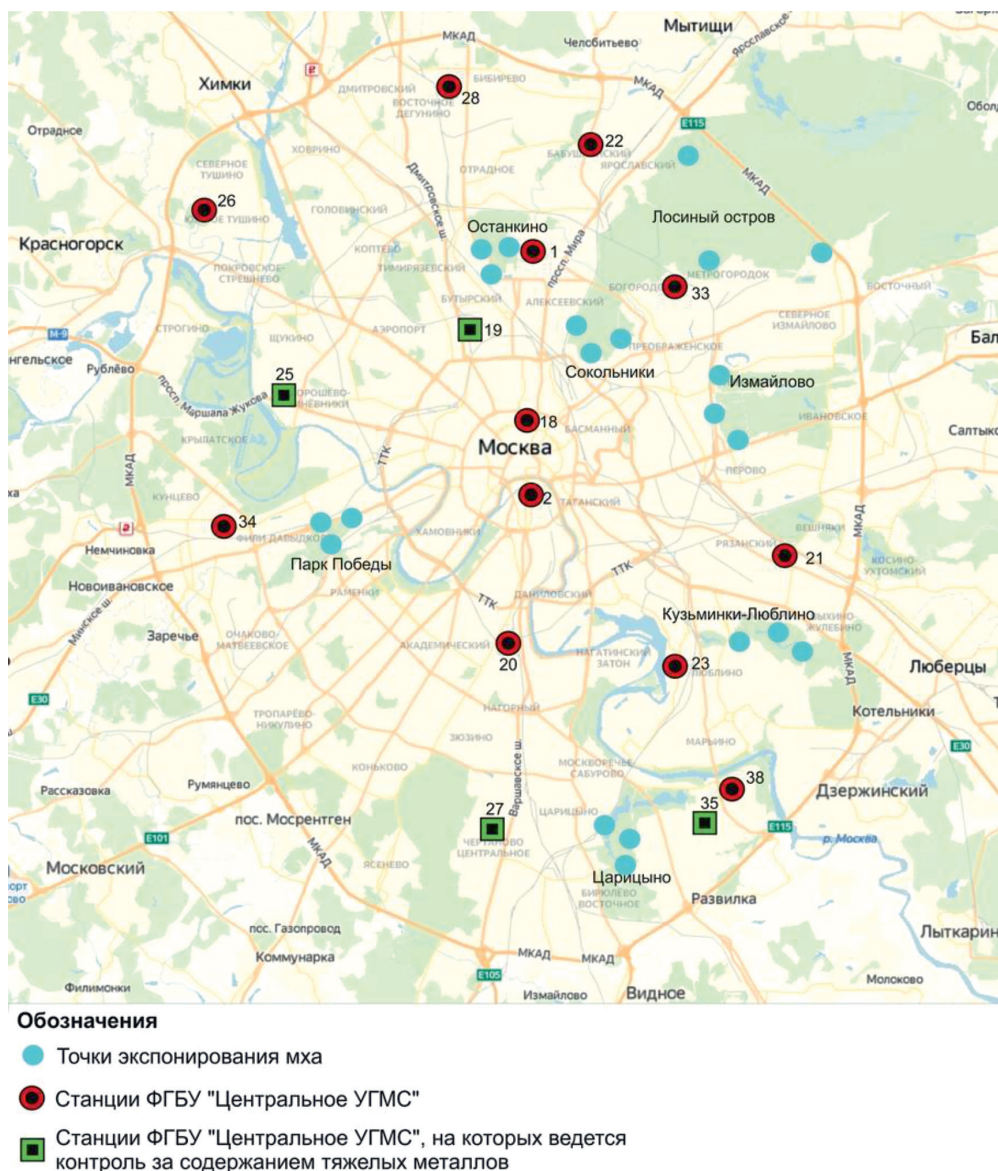


Рис. 1. Карта Москвы с указанием точек экспонирования мха и станций контроля загрязнения атмосферного воздуха ФГБУ «Центральное УГМС»

Цель исследования: использование техники «мох в мешках» для определения следовых элементов (Cu, Sb, Pb, V и Zn) в составе атмосферного воздуха на территории рекреационных зон Москвы.

Материалы и методы исследования

Активный биомониторинг с использованием техники «мох в мешках» был проведен на территории семи парков Москвы (Сокольники, Лосиный остров, Измайлово, Царицыно, Парк Победы, Кузьминки-Люблино и Останкино) в период с июня по сен-

тябрь 2018 г. Для экспонирования был выбран мох вида *Sphagnum girgensohnii*. Особенностью сфагновых мхов является отсутствие ризоидов, заменяющих корни, поэтому практически все элементы, аккумулируемые мхом, поступают из атмосферы. Проведенные ранее исследования показали целесообразность использования для техники «мох в мешках» видов *Sphagnum*. Эти виды хорошо удерживают воду и обладают высокой катионообменной способностью, быстро накапливают катионы из дождевой воды и сухих выпадений, выделяя ионы во-

дорода взамен. Клеточная стенка мха действует как ионообменник [8]. Мох был собран в мае 2018 г. в водно-болотном угодье Тверской области там же, где его собирали в предыдущих исследованиях [2, 5]. Пробоподготовка мха перед экспонированием в парках подробно описана в работе [11].

Мешочки со мхом развешивали на территории каждого парка в трех точках с разной антропогенной нагрузкой (рис. 2). Экспонирование проводилось в течение трех месяцев с июня по сентябрь. Каждый месяц снимали по 3 мешочка с каждой точки, после чего доставляли в лабораторию для хранения в изолированном от загрязнений месте. Один неэкспонированный образец хранили в лаборатории и использовали в качестве контроля при расчетах. В конце эксперимента, перед проведением анализа, мох изымали из мешочков и гомогенизировали с помощью мельницы с агатовыми камнями.

Концентрации Sb, V и Zn в образцах мхов и контрольном образце определяли методом инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА) в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка (ЛНФ) Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ). Измерения проводились на установке РЕГАТА реактора ИБР-2. НАА выполнялся «относительным методом» путем сравнения активностей радионуклидов, образующихся при одно-

временном облучения нейтронами исследуемых образцов и стандартов, в которых известны сертифицированные значения концентраций элементов. В качестве эталонов сравнения использовали стандартные образцы с сертифицированными значениями концентраций элементов: USGS AGV2 (Андезит), NIST 1632с (уголь (Битумный)), NIST 2709 (почва Сан-Хоакин).

Концентрации Cu и Pb в образцах мха определяли с использованием атомного абсорбционного спектрометра iCE 3300 AAS с электротермической (графитовая печь) атомизацией (Thermo Fisher Scientists, Waltham, MA, USA). Минерализацию образцов проводили с помощью микроволновой системы (Mars; CEM, Matthews, NC, USA). Навеску мха (примерно 0,3 г) помещали в тефлоновый сосуд, добавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты и 1 мл перекиси водорода. Разложение образцов проводили в два этапа: 1 – температура 160 °С, 15 мин., мощность 400 Вт, давление 20 бар; 2 – температура 160 °С, выдержка 10 мин, мощность 400 Вт, давление 20 бар. Полученный раствор переносили в калибровочные колбы и доводили до объема 100 мл бидистиллированной водой. Для контроля качества результатов анализа были использованы стандартные материалы NIST SRM 1570a (листья шпината) и SRM 1575a (хвоя сосны).



Рис. 2. Экспонирование мешков в парке / мешок со мхом

Таблица 1

Концентрации следовых элементов во мхах после трех месяцев экспонирования, (мкг/г)

Элемент	1 точка	2 точка	3 точка	Контроль
Измайлово				
V	1,2 ± 0,1	3,0 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	41 ± 2	54 ± 8	36 ± 5	30 ± 5
Sb	1,1 ± 0,1	2,0 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	9,0 ± 0,1	11,8 ± 0,4	6,63 ± 0,04	4,89 ± 0,02
Pb	3,9 ± 0,2	6,0 ± 0,1	4,14 ± 0,03	3,11 ± 0,08
Кузьминки-Люблино				
V	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	51 ± 3	43 ± 2	41 ± 2	30 ± 5
Sb	1,6 ± 0,1	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	7,8 ± 0,2	6,0 ± 0,2	5,9 ± 0,1	4,89 ± 0,02
Pb	4,42 ± 0,05	4,96 ± 0,02	4,48 ± 0,14	3,11 ± 0,08
Лосиный остров				
V	0,94 ± 0,08	5,6 ± 0,4	1,1 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	44 ± 2	119 ± 6	37 ± 2	30 ± 5
Sb	2,1 ± 0,2	3,5 ± 0,3	2,2 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	6,09 ± 0,02	21,17 ± 0,01	6,04 ± 0,18	4,89 ± 0,02
Pb	4,18 ± 0,04	5,73 ± 0,12	4,08 ± 0,14	3,11 ± 0,08
Останкино				
V	1,14 ± 0,09	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	42 ± 2	40 ± 2	42 ± 6	30 ± 5
Sb	1,2 ± 0,1	2,3 ± 0,2	2,0 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	6,12 ± 0,02	5,8 ± 0,2	7,72 ± 0,02	4,89 ± 0,02
Pb	6,1 ± 0,1	4,7 ± 0,1	5,0 ± 0,1	3,11 ± 0,08
Сокольники				
V	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	47 ± 7	45 ± 7	38 ± 6	30 ± 5
Sb	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,06 ± 0,01
Cu	7,81 ± 0,03	7,86 ± 0,02	7,29 ± 0,05	4,89 ± 0,02
Pb	4,841 ± 0,002	3,11 ± 0,03	4,89 ± 0,01	3,11 ± 0,08
Парк Победы				
V	1,1 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	60 ± 4	38 ± 5	60 ± 3	30 ± 5
Sb	1,2 ± 0,1	2,3 ± 0,2	1,4 ± 0,1	0,06 ± 0,01
Cu	6,6 ± 0,1	8,1 ± 0,1	8,0 ± 0,2	4,89 ± 0,02
Pb	4,42 ± 0,01	5,29 ± 0,02	4,9 ± 0,1	3,11 ± 0,08
Царицыно				
V	2,4 ± 0,2	1,3 ± 0,1	—	0,6 ± 0,1
Zn	62 ± 3	46 ± 2	—	30 ± 5
Sb	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	—	0,06 ± 0,01
Cu	11,0 ± 0,3	7,5 ± 0,1	35,0 ± 0,5	4,89 ± 0,02
Pb	5,8 ± 0,1	4,37 ± 0,05	10,7 ± 0,5	3,11 ± 0,08

Результаты исследования и их обсуждение

Концентрации исследованных элементов в точках, испытывающих наибольшую антропогенную нагрузку, как правило, увеличивались со временем экспонирования. В связи с этим нами было рассмотрено на-

копление элементов мхами после трех месяцев экспонирования. Содержание следовых элементов во мхах представлено в табл. 1.

Высокое, по сравнению с фоновыми значениями, содержание цинка (119 мкг/г) отмечается в образцах мха, экспонированных на территории «Лосиного острова» в непосредственной близости от МКАД.

В остальных образцах концентрация цинка значительно ниже и варьируется в пределах от 37 до 62 мкг/г. Источником цинка может быть дорожное покрытие, в котором он содержится. Цинк может поступать в окружающую среду при истирании автомобильных шин, эрозии оцинкованных поверхностей [12].

Содержание меди в образцах экспонированного мха находится в среднем на уровне 9,5 мкг/г. Ее максимальное содержание отмечается в зоне влияния крупных автомагистралей, в точке 2 «Лосино-острова» (21,2 мкг/г) и точке 3 парка «Царицыно» (35,0 мкг/г). Медь присутствует в отработанных газах автомобильных двигателей [12] и может поступать в воздух при истирании тормозных колодок [1].

Содержание свинца в исследуемых образцах колеблется в диапазоне от 3,1 до 6,1 мкг/г, за исключением точки 3 в парке «Царицыно», где содержание свинца составляет 10,7 мкг/г. Свинец может поступать в атмосферный воздух при сжигании мусора, износе автомобильных покрышек, от промышленных предприятий и др. [1, 13].

Содержание ванадия в образцах экспонированного мха на территории парков «Кузьминки-Люблино», «Останкино», «Сокольники», «Парк Победы» довольно равномерно и варьирует от 0,9 до 1,7 мкг/г. Обращает внимание высокое содержание ванадия в образцах мха в точке 2 «Лосино-острова» и точке 2 парка «Измайлово». Обе точки находятся в зоне влияния загруженных автомагистралей. Источниками поступления ванадия в атмосферу являются отработанные газы бензиновых двигателей и выбросы теплоэлектростанций.

Высокое содержание сурьмы отмечается в образцах мха, экспонированных на территории «Лосино-острова» (2,1–3,5 мкг/г), в точке 2 парка Победы (2,3 мкг/г), точке 2 парка «Останкино» (2,3 мкг/г). В последнее время сурьма рассматривается как один из наиболее опасных загрязнителей из-за высокой токсичности и распространенности. Сурьма может поступать в окружающую среду при торможении автомобильного транспорта, поскольку входит в состав материала тормозных колодок.

Для оценки техногенной нагрузки Н.С. Касимов [14] предложил использовать коэффициент техногенной концентрации (K_c), отражающий степень антропогенного загрязнения. Коэффициент был рассчитан для образцов после трех месяцев экспони-

рования в парках относительно контрольного образца по формуле

$$K_c = K_{\text{мх}} / K_{\text{контроль}} \quad (1)$$

$K_{\text{мх}}$ – концентрация во мхе после экспонирования;

$K_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента во мхе, не подверженном экспонированию.

Полученные в результате расчетов коэффициенты техногенной концентрации K_c представлены в табл. 2. Для всех изучаемых следовых элементов коэффициент техногенной концентрации выше единицы во всех точках обследованных парков.

Фернандес и Карбальейра [15] для коэффициента техногенной нагрузки, обозначаемого авторами как CF (contamination factor), была предложена классификация, согласно которой авторы выделяют шесть категорий загрязнения: K1 (нет загрязнения) – $K_c < 1$; K2 (предполагаемое загрязнение) – $K_c 1-2$; K3 (слабое загрязнение) – $K_c 2-3,5$; K4 (умеренное загрязнение) – $K_c 3,5-8$; K5 (сильное загрязнение) – $K_c 8-27$; K6 экстремальное загрязнение – $K_c > 27$. Коэффициенты, представленные в табл. 2, рассчитаны в соответствии с этой классификацией.

Как показали расчеты, экстремально высокий коэффициент техногенной нагрузки (19–58) отмечается для сурьмы. Самые высокие значения K_c для сурьмы отмечаются на территории парка «Лосиный остров» (35–58), максимальные в точке, примыкающей к МКАД (табл. 2). В этой точке также зафиксировано умеренное загрязнение по меди (4, 3), цинку (4) и сильное загрязнение по ванадию (9).

В парке «Царицыно» на территории, примыкающей к Новоцарицынскому шоссе, выявлено умеренное загрязнение (K5) по меди (7,1). Концентрации V, Zn и Sb в третьей точке парка «Царицыно» не были определены по техническим причинам. Умеренное загрязнение по ванадию (4,6) и слабое загрязнение по меди (2,4) отмечается также в парке «Измайлово» в непосредственной близости от Северо-Восточной хорды. Слабое загрязнение по ванадию отмечается также на территории парков «Кузьминки-Люблино» (2,4) и «Парк Победы» (2,3–2,7).

Таким образом, во всех обследованных точках отмечается загрязнение от сильного до опасного по сурьме, от сильного до предполагаемого загрязнения по ванадию. Загрязнение по цинку относится к категории предполагаемое загрязнение везде, кроме второй точки парка «Лосиный остров», в которой выявлено умеренное загрязнение

данным элементом. Загрязнение по меди относится к категории умеренное загрязнение в точке 3 парка «Царицыно» и точке 2 парка «Лосиный остров»; к категории слабое загрязнение относятся первая точка парка «Царицыно» и вторая точка парка «Измайлово», а остальные точки парков относятся к категории предполагаемое загрязнение. Все обследованные территории парков по свинцу относятся к категории предполагаемое загрязнение, а в точке 2 парка «Сокольники» загрязнение отсутствует, K_c равен 1.

Для оценки накопления химических элементов, экспонированным мхом при проведении активного биомониторинга, принято также рассчитывать относительный коэффициент накопления (ОКН). В зарубежной литературе ОКН обозначается как RAF (relative accumulation factor) [5].

В данной работе ОКН для оценки содержания в атмосферном воздухе следовых элементов Cu, Sb, Pb, V, Zn рассчитывали по формуле

$$ОКН = \frac{(K_{\text{эксп.}} - K_{\text{контроль}})}{K_{\text{контроль}}}, \quad (2)$$

$K_{\text{эксп.}}$ – концентрация элемента в экспонированном мхе;

$K_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента во мхе, не подверженном экспонированию в парке.

По мнению Rong Hu, Yun Yan и др. [7], коэффициент $ОКН > 1$ свидетельствует о значительном накоплении элемента, коэффициент $< 0,5$ указывает на незначительное накопление.

ОКН для всех парков также был рассчитан для образцов мха после трех месяцев экспонирования. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения относительного коэффициента накопления (ОКН), коэффициента концентрации (K_c) и категории K_c на территории рекреационных зон Москвы

Показатели	Cu 1/2/3 точка	Pb 1/2/3 точка	Sb 1/2/3 точка	Zn 1/2/3 точка	V 1/2/3 точка
Царицыно					
K_c	2,2/1,5/7,1	1,9/1,4/3,4	25/25/*	2/1,5/*	4/2/*
Категория K_c	K3/K2/K4	K2/K2/K3	K5/K5/*	K2/K2/*	K4/K2/*
ОКН	1,2/0,5/6,1	0,9/0,4/2,4	24/24/*	1/0,5/*	3/1/*
Останкино					
K_c	1,2/1,2/1,6	2/1,5/1,6	20/38/33	1,4/1,3/1,4	1,8/1,6/1,9
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K6	K2/K2/K2	K2/K2/K2
ОКН	0,2/0,2/0,6	1/0,5/0,6	19/37/32	0,4/0,3/0,4	0,8/0,6/0,9
Кузьминки-Люблино					
K_c	1,6/1,2/1,2	1,4/1,6/1,4	26/29/29	1,7/1,4/1,4	2/1,8/2,4
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K6	K2/K2/K2	K2/K2/K3
ОКН	0,6/0,2/0,2	0,4/0,6/0,4	25/28/28	0,7/0,4/0,4	1,1/0,8/1,4
Измайлово					
K_c	1,8/2,4/1,4	1,2/1,9/1,3	19/32/32	1,4/1,8/1,2	1,9/4,6/1,8
Категория K_c	K2/K3/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K6	K2/K2/K2	K2/K4/K2
ОКН	0,8/1,4/0,4	0,2/0,9/0,3	18/31/31	0,4/0,8/0,2	0,9/3,6/0,8
Парк Победы					
K_c	1,3/1,7/1,6	1,4/1,7/1,6	19/38/24	2/1,3/2	1,7/2,3/2,7
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K5	K2/K2/K2	K2/K3/K3
ОКН	0,3/0,7/0,6	0,4/0,7/0,6	18/37/23	1/0,3/1	0,7/1,3/1,7
Лосиный остров					
K_c	1,2/4,3/1,2	1,3/1,8/1,3	35/58/36	1,5/4/1,2	1,5/9/1,7
Категория K_c	K2/K4/K2	K2/K2/K2	K6/K6/K6	K2/K4/K2	K2/K5/K2
ОКН	0,2/3,3/0,2	0,3/0,8/0,3	34/57/35	0,5/3/0,2	0,5/8/0,7
Сокольники					
K_c	1,6/1,6/1,5	1,6/1/1,6	20/20/19	1,6/1,5/1,3	1,8/1,8/1,4
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K1/K2	K5/K5/K5	K2/K2/K2	K2/K2/K2
ОКН	0,6/0,6/0,5	0,6/0/0,6	19/19/18	0,6/0,5/0,3	0,8/0,8/0,4

Примечание: * – нет данных.

Высокие ОКН меди выявлены в парке «Царицыно» в непосредственной близости от Новоцарицынского шоссе (6,1) и в первой точке (1,2), на территории «Лосино острова» в точке 2, примыкающей к МКАД (3,3), в Измайловском парке вблизи от СВХ (1,4). В остальных точках ОКН меди не превышает 0,8.

Высокие ОКН цинка выявлены на территории «Лосино острова» (3,0), примыкающей к МКАД. ОКН цинка на уровне 1 отмечается в точке 1 парка «Царицыно» и точках 1 и 3 парка Победы. Самые низкие значения ОКН (0,3–0,4) характерны для парка «Останкино».

Значительное накопление свинца отмечено только в точке 3 парка «Царицыно», ОКН составил 2,4. В девяти точках обследования ОКН для свинца меньше 0,5; в одиннадцати пробах от 0,5 до 1,0. Незначительное относительное накопление свинца даже на территориях, испытывающих влияние автотранспорта, связано с тем, что с 1 января 2003 г. запрещено использование, ввоз и реализация на территории РФ бензина с использованием тетраэтилсвинца в качестве добавки. Вместе с тем, как уже отмечалось, свинец может поступать в атмосферный воздух при сжигании мусора, износе автомобильных покрышек, от промышленных предприятий и др. [1, 13].

ОКН ванадия во мхах после трех месяцев экспонирования > 1 во всех точках парка «Царицыно», в точках 2 и 3 Парка Победы, в точке 2 парка «Лосиный остров», в точках 1 и 3 парка «Кузьминки-Люблино», а также в точке 2 парка «Измайлово».

ОКН сурьмы во всех исследуемых парках чрезвычайно высокий (18–57). Максимальные значения отмечаются на территории Лосино острова, примыкающей к МКАД. Самые низкие значения ОКН (18–19) во мхах, экспонированных в парке «Сокольники».

В последнее время обращают внимание на способность сурьмы аккумулироваться в биогенных образцах в условиях повышенной техногенной нагрузки. Техногенными источниками сурьмы являются предприятия цветной и черной металлургии, производство цемента, кирпича, а также сжигание угля. Сурьма накапливается как результат дорожного движения на территории даже с низкой антропогенной нагрузкой. Так на территории ботанического сада в городе Белград (Сербия) самый высокий ОКН выявлен для сурьмы (1,7; 1,3) [9]. Следует отметить, что относительный коэф-

фициент накопления в ботаническом саду Белграда значительно ниже, чем полученные для рекреационных зон Москвы. Полученные значения ОКН сурьмы в парках Москвы сопоставимы с результатами исследований, проведенными в разных странах на территориях с высокой антропогенной нагрузкой. Самые высокие значения относительного коэффициента накопления для сурьмы (> 40) были получены в Белграде [10] и в Кишинёве (ОКН равен 29) [5].

Наряду с автотранспортом вклад в загрязнение воздуха на территории парков могут вносить заводы и ТЭЦ, расположенные вблизи изучаемых территорий. Между парками «Кузьминки-Люблино» и «Царицыно», район Капотня, находится Московский нефтеперерабатывающий завод (ОАО «Газпром-нефть»), который может загрязнять атмосферный воздух веществами, образованными в результате переработки нефти. Напротив Капотни находится ТЭЦ № 22, загрязняющая атмосферный воздух в основном твердыми частицами золы, оксидами серы, оксидами азота, угарным газом и др. Вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит мусоросжигательный завод № 3, расположенный недалеко от парка Царицыно. К негативно воздействующим производствам, расположенным рядом с исследуемыми парковыми территориями, можно отнести «Лосиноостровский электродный завод», «Бетонный завод 223», «Бирюлевский мясоперерабатывающий комбинат», Спецзавод № 3.

Согласно данным из ежегодника Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», за 2018 г. среднегодовые концентрации и максимальные величины из средних за месяц для Pb, Cu и Zn не превышают ПДК. Проведенное исследование с помощью техники «мох в мешках» позволяет выделить территории парков с более высокими концентрациями следовых элементов в основном в точках, расположенных в зоне влияния автомагистралей с интенсивным движением транспорта.

Выводы

Большая часть исследованных территорий по величине коэффициента техногенной концентрации (K_c) относится к категории предполагаемое загрязнение. Вместе с тем парковые и заповедные зоны Москвы подвержены негативному антропогенному воздействию. Накопление элементов

в экспонированных образцах мха наблюдалось не только в точках с высокой антропогенной нагрузкой, но и на территориях, находящихся вдали от видимых источников загрязнения.

Основным источником поступления рассматриваемых элементов в атмосферный воздух является автотранспорт. Самые высокие значения K_c и ОКН для Cu, Zn, Sb, Pb и V получены в точках, примыкающих к автомагистралям с интенсивным движением.

Коэффициент концентрации (K_c), отражающий степень антропогенного загрязнения для Sb во всех точках и парках, относится к категории сильного и экстремального загрязнения.

Регулярный мониторинг атмосферного воздуха помогает своевременно обнаружить проблему загрязнения и выявить потенциальные источники загрязнения. Техника «мох в мешках» может дополнить существующие стандартные методы контроля загрязнения атмосферного воздуха на территории Москвы.

Список литературы / References

1. Пепина Л.А., Созонтова А.Н. Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом // *Алфабилд*. 2017. № 1 (1). С. 99–110.
2. Pepina L.A., Sozontova A.N. Air pollution from the road complex // *Alfabuild*. 2017. № 1 (1). P. 99–110 (in Russian).
3. Afag I., Madadzada, Wael M., Badawy, Sevinj R., Hajiye-va, Zarifa T., Veliyeva, Orkhan B., Hajiyeve, Margarita S., Shvetsova, Marina V., Frontasyeva, Assessment of atmospheric deposition of major and trace elements using neutron activation analysis and GIS technology: Baku – Azerbaijan. *Microchemical Journal* 147. 2019. P. 605–614. DOI: 10.1016/j.microc.2019.03.061.
4. 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.
5. Culicov O.A., Duliu O.G., Zinicovscaia I., Study of elemental grouping in Moss-Bags as a function of height and location of the exposure site. *Romanian Reports in Physics*. 2016. Vol. 68. No. 2. P. 736–745.
6. Zinicovscaia I., Aničić Urošević M., Vergel K., Vieru E., Frontasyeva M., Povar I., Duca G., Active moss biomonitoring of trace elements air pollution in Chisinau, Republic of Moldova. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2018. Vol. 25(3). P. 361–372. DOI: 10.1515/eces-2018-0024.
7. Rivera M., Zechmeister H., Medina-Ramón M., Basagaña X., Foraster M., Bouso L., Moreno T., Solanas P., Ramos R., Köllensperger G., Deltell A., Vizcaya D., Künzli N., Monitoring of heavy metal concentrations in home outdoor air using moss bags. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159. P. 954–962. DOI: 10.1016/j.envpol.2010.12.004.
8. Rong Hu, Yun Yan, Xiaoli Zhou, Yanan Wang, Yanming Fang – Monitoring Heavy Metal Contents with Sphagnum Junghuhnianum Moss Bags in Relation to Traffic Volume in Wuxi, China. *Int. Public Health*. 2018. 15. P. 374.
9. Aničić M., Tasić M., Frontasyeva M.V., Tomašević M., Rajšić S., Strelkova L.P., et al. Active biomonitoring with wet and dry moss: a case study in an urban area. *Environ Chem Lett*. 2009. 7. P. 55–60. DOI: 10.1007/s10311-008-0135-4.
10. Anicic M., Vuković G., Vuković P., Vujičić M., Sabovljević A., Sabovljević M., Tomašević M. Urban background of air pollution – evaluation through moss bag biomonitoring of trace elements in Botanical garden. *Urban forestry&Urban greening*. 2017. 25. P. 1–10.
11. Vuković G., Aničić Urošević M., Škrivanj S., Milićević T., Dimitrijević D., Tomašević M., Popović A. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: A street study in Belgrade, Serbia. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 542. P. 394–403. DOI: 10.20944/preprints201703.0064.v1.
12. Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Frontasyeva M.V., Madadzada A.I., Zinicovscaia I.I., Pavlov S.S., Vergel K.N., Yushin N.S. Active moss biomonitoring using the «moss bag technique» in the park of Moscow. *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2018. Vol. 16(6). P. 994–1003. DOI: 10.1134/S1547477119060293.
13. Snezhko S.I., Shevchenko O.G. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу // *Ученые записки РГГМУ*. 2011. № 18. С. 35–37.
14. Snezhko S.I., Shevchenko O.G. Sources of heavy metals in the atmosphere // *Uchenyye zapiski RGGMU*. 2011. № 18. P. 35–37 (in Russian).
15. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // *Астраханский вестник экологического образования*. 2013. № 1 (23). С. 182–192.
16. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor in environmental pollution (literature review), *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2013. № 1 (23). P. 182–192 (in Russian).
17. Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013. 208 с.
18. Kasimov N.S. Ecogeochemistry of landscapes. M.: IP Filimonov M.V., 2013. 208 p. (in Russian).
19. Fernández J.A., Carballeira A. Evaluation of Contamination, by Different Elements, in Terrestrial Mosses. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2000. 40. P. 461–466. DOI: 10.1007/s002440010198.