

УДК: 504.06

**М. С. Швецова, И. З. Каманина, М. В. Фронтасьева, А. И. Мададзада,
И. И. Зиньковская, С. С. Павлов, К. Н. Вергель, Н. С. Юшин**

Применение активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках» на территории музея-заповедника «Царицыно»

*Москва является крупным мегаполисом, в котором атмосферный воздух ежедневно подвергается непрерывному воздействию химических веществ, образованных в результате работы заводов, автотранспорта, отопления жилых помещений и других видов человеческой деятельности. Заповедные и парковые зоны на территории Москвы играют важную рекреационную роль, поэтому контроль качества воздуха на этих территориях должен осуществляться в первую очередь. В качестве альтернативного метода мониторинга атмосферного воздуха более 40 лет используют метод активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках». Данный вид биомониторинга успешно применяется по всему миру: в Китае, Сербии, Молдове, Азербайджане, Италии, Румынии и т.д. Данный метод биомониторинга впервые был применен на территории музея-заповедника «Царицыно» для оценки загрязнения атмосферного воздуха. Для проведения эксперимента был выбран мох *Sphagnum girgensohnii*. С помощью нейтронного активационного анализа были определены концентрации элементов: Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Se, As, Br, Rb, Mo, Sr, Sb, Ba, Cs, La, Sm, Tb, Ce, Hf, Ta, W, Th, и U. Концентрации Pb, Cu и Cd были определены методом атомной абсорбционной спектрометрии.*

*Ключевые слова: нейтронный активационный анализ, тяжелые металлы, *Sphagnum girgensohnii*, активный биомониторинг, рекреационные зоны*

Об авторах

Швецова Маргарита Сергеевна – аспирант, кафедра экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна», инженер в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований. *E-mail*: mks@jinr.nf.ru. 141980, Россия, Московская область, Дубна, ул. Жолио-Кюри, дом 6.

Каманина Инна Здиславовна – кандидат биологических наук, доцент, кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Фронтасьева Марина Владимировна – начальник сектора нейтронного активационного анализа и прикладных исследований в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований.

Мададзада Афаг Иса – старший научный сотрудник в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований, National Nuclear Research Centre, Insaatcilar Ave, 4, AZ1073 Baku, Republic of Azerbaijan.

Зиньковская Инга Ивановна – старший научный сотрудник в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований, Horia Hulubei National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering, 30 Reactorului Str.MG-6, Bucharest-Magurele, Romania.

Павлов Сергей Сергеевич – ведущий инженер в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований.

Вергель Константин Николаевич – научный сотрудник в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований

Юшин Никита Сергеевич – инженер в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований.

Контроль за качеством атмосферного воздуха на территории Москвы осуществляется станциями контроля загрязнения атмо-

сферы. Всего насчитывается 56 таких станций, включая мобильные автоматические станции контроля загрязнения атмосферы. Они контролируют содержание загрязняющих веществ, таких как оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сумма углеводородных соединений, озон, диоксид серы [3]. Данных по содержанию в воздухе тяжелых металлов, мно-

гие из которых относятся к первому классу опасности, крайне мало [10].

Методы биомониторинга широко применяются в качестве альтернативных для оценки качества среды. Растения являются хорошими показателями состояния окружающей среды. Для исследования загрязнения воздуха тяжелыми металлами наиболее подходят методы с использованием мха. Мох используют для оценки качества воздуха благодаря его способности поглощать и удерживать химические элементы. Поскольку он не имеет корневой системы, большая часть элементов, накапливаемых в нем, поступают из атмосферы. Это свойство мха широко используется, в том числе для проведения активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках». Химический анализ растений является важным инструментом для изучения изменений в биосфере [15].

Методика «мох в мешках» была предложена Гудманом и Робертсом в 1971 г. [7]. Данная методика с использованием мхов *Sphagnum girgensohnii* и *Hypnum cupressiforme* применялась в столице Сербии г. Белграде. Мош *Sphagnum girgensohnii* и *Hypnum* были упакованы в мешки и размещены на 48 участках отбора проб в течении 10 недель. За время экспозиции были накоплены в основном элементы, характерные для дорожного движения (Sb, Cu и Cr) [16]. В Румынии техника «мох в мешках» применялась для оценки загрязненного участка Baia Mare. В качестве биоиндикатора был выбран мох *Sphagnum girgensohnii*. За временем экспонирования во мхе увеличились концентрации таких элементов, как Zn, Se, As, Ag, Cd и Sb, которые являются загрязнителями окружающей среды на изучаемой территории [8]. Активный биомониторинг был применен для оценки загрязнения атмосферного воздуха в столице Республики Молдова. Результаты показали увеличение концентраций V, Sb, U и As [19]. В Италии на 24 участках вулкана Этна были размещены мешки со мхом видов *Sphagnum* для отслеживания естественного загрязнения воздуха [7]. В Испании (Жирона) за пределы 23 домов были выставлены мешки со мхом на 2 месяца для оценки загрязнения наружного воздуха тяжелыми металлами [14]. На территории аэропорта «Никола Тесла» (Белград, Сербия) был проведен активный биомониторинг с использованием в качестве биоиндика-

тора мха *Sphagnum girgensohnii*, что позволило определить влияние выбросов воздушных судов на загрязнение атмосферного воздуха [18]. Проведенные исследования позволили выделить территории с разной степенью техногенной нагрузки и источники поступления элементов в атмосферу.

Использование техники «мох в мешках» является самым удобным способом контроля загрязнения атмосферного воздуха. В отличие от стандартного мониторинга, который дает почасовую или суточную концентрацию загрязняющих веществ, можно оценить загрязнение за несколько месяцев. Данная техника проста в размещении на исследуемой территории, не требует источников питания и обслуживания в течение периода экспонирования.

Цель настоящего исследования – определение возможности использования метода активного биомониторинга атмосферного воздуха на территории музея-заповедника «Царицыно».

Активный биомониторинг проводился летом в период с 01.06.2017 г. по 01.09.2017 г. на территории Государственного музея-заповедника «Царицыно», который является одним из наиболее посещаемым в Москве. Согласно данным Регионального информационного агентства Московской области в выходные дни посещаемость парка насчитывает до 40 тысяч человек и до 70 тысяч в праздничные дни. Музей-заповедник «Царицыно» занимает 405 гектаров [2]. На этой территории расположен Царицынский дворец, пруды, комплект дворцовых зданий. Территория включена в особо охраняемую природную территорию «Царицыно» с 1998 года [4].

На территории парка были выбраны три участка с разной степенью техногенной нагрузки. Первый участок располагался в наиболее озелененной юго-восточной части парка, вдали от явных источников загрязнения (рис. 1). Второй участок располагался в восточной части парка, вблизи от автостоянки, улицы Баженова с интенсивным движением транспорта и станции метро Орехово. Третий участок находился в южной части парка вблизи от транспортной магистрали с интенсивным автомобильным и железнодорожным движением, железнодорожной станции и станции метро Царицыно. На каждом участке экспонировалось девять мешков мха для активного биомониторинга.

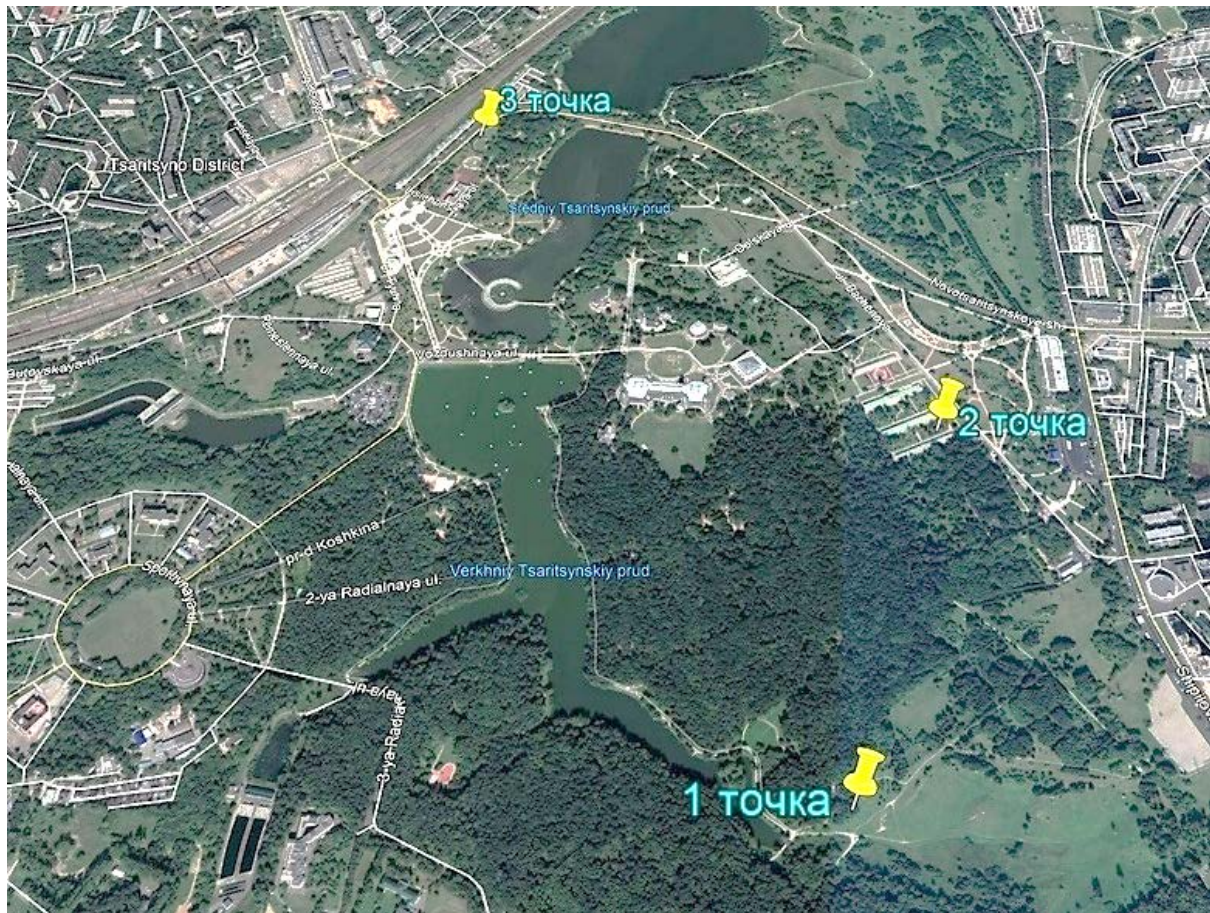


Рис. 1. Карта музея-заповедника Царицыно с указанием точек экспонирования мха

Для проведения биомониторинга был использован мох *Sphagnum girgensohnii* (рис. 2), сбор которого происходит в нетронутом водно-болотном угодье Тверской области. Предыдущие исследования показали целесообразность использования мха с данной территории для активного биомониторинга [5]. Собранный мох был очищен от крупных частиц, почвы, насекомых и сушился до пост-

янного веса при температуре 40 °С в лабораторных условиях в сушильном шкафу (рис. 2) [16]. Высушенный мох был свободно упакован в нейлоновые мешки размером 10 × 10 см и размером ячейки 1 мм. Вес мха в мешках, приготовленных для экспонирования, составлял около 3 г мха. Образец мха, который не был экспонирован в парке, использовался в качестве контрольного.



Рис. 2. а) мох *Sphagnum girgensohnii*; б) *Sphagnum girgensohnii* в сушильном шкафу

Время экспонирования образцов мха составило три месяца. Каждый месяц по три мешка с каждого участка снимались (рис. 3) и отправлялись лаборатории, где они хранились в защищённом от загрязнений месте

до проведения аналитических исследований. По окончании срока эксперимента была проведена пробоподготовка всех образцов в соответствии с методикой [20].



Рис. 3. а) экспонирование мешков в парке; б) мох в мешках после экспонирования

Определение элементного состава в образцах осуществлялось с помощью нейтронного активационного анализа (НАА) на реакторе ИБР-2, на установке REGATA, в лаборатории нейтронной физики Объединённого ин-

ститута ядерных исследований (ЛНФ ОИЯИ). Информация о системе пневматического транспорта и о каналах облучения на установке REGATA подробно описана в работе [11]. Cu, Cd и Pb были определены методом атом-

но-абсорбционной спектрометрии (ACC) на спектрометре iCE 3300 AAS с распылением электротермической (графитовой печи) (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA).

Использование НАА и ААС позволило определить в образцах мха содержание 35 химических элементов (Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Se, As, Br, Rb, Mo, Sr, Sb, Ba, Cs, La, Sm, Tb, Ce, Hf, Ta, W, Th, U с помощью НАА и Cd, Cu и Pb методом ААС).

Как показали исследования, накопление элементов мхами в ходе активного биомониторинга крайне неравномерно (рис. 4).

Вместе с тем можно выделить общие тенденции. Во всех образцах мха после экспонирования увеличились по сравнению с контролем концентрации Na, Mg, Al, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Zn, As, Sr, Sb, La, Tb, Ce, Hf, Ta, Th, U и Cu. Максимальное накопление большинства элементов отмечается после трех месяцев экспонирования. Такие элементы, как Sb, Cr, Fe, Zn, La, Th и V, активно накапливаемые мхами являются индикаторами загрязнения воздуха в городах. В целом более активное накопление элементов в ходе биомониторинга выявлено на третьем участке, что связано с интенсивной транспортной нагрузкой. На первом и втором участке экспонирования в образцах мха отмечается относительное снижение

по сравнению с контролем концентраций K, Cl и Rb, что вероятно связано с высокой подвижностью этих элементов и незначительным поступлением из атмосферы. Подобные закономерности отмечались и в других исследованиях [6; 9; 11]. Во всех образцах наблюдается относительное снижение концентрации Pb. Можно предположить, что это связано с запретом использования этилированного бензина на территории России [13]. После исследований, посвященных оценке содержания свинца в отработанных газах автомобильного транспорта, пришли к выводу что, 200–400 мг свинца может поступать в окружающую среду в результате сгорания 1 литра этилированного бензина. Содержание и накопление свинца привело к ухудшению здоровья населения, поэтому многие страны стали использовать неэтилированный бензин. В западных странах отказ от данного вида бензина произошел быстрее и отобразился на качестве воздуха [1].

Наибольшее обогащение экспонированных образцов мха отмечается для Sb, элемента, который находится в тормозных колодках и поступает в окружающую среду при торможении автотранспорта [14]. С влиянием автотранспорта связывают также поступление в атмосферу таких элементов, как Cr, V, Co, Fe.

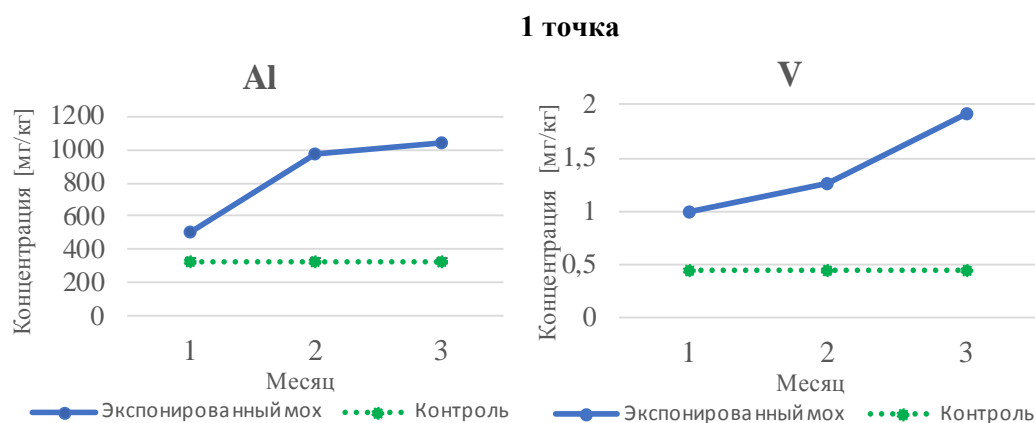
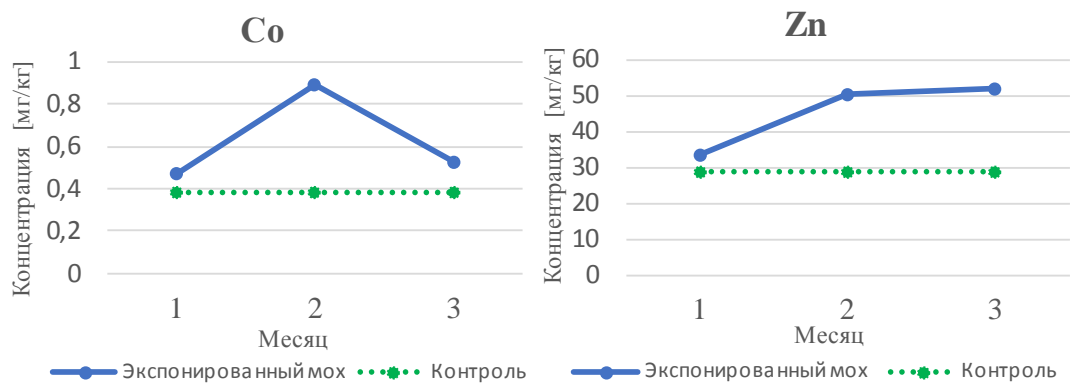
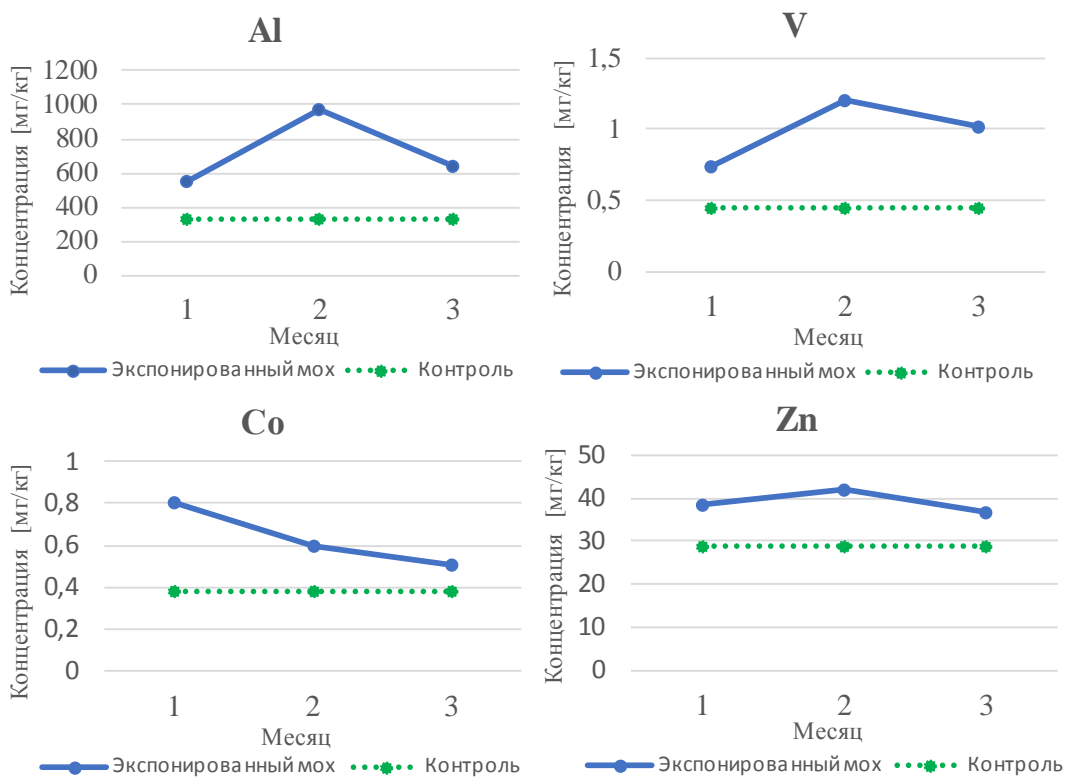


Рис. 4. Накопление некоторых элементов в экспонируемом мхе



2 точка



3 точка

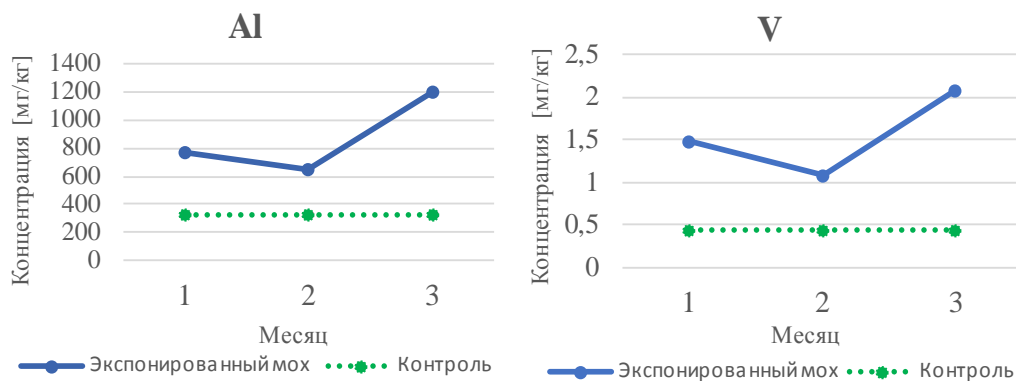


Рис. 4. Накопление некоторых элементов в экспонируемом мхе. Продолжение

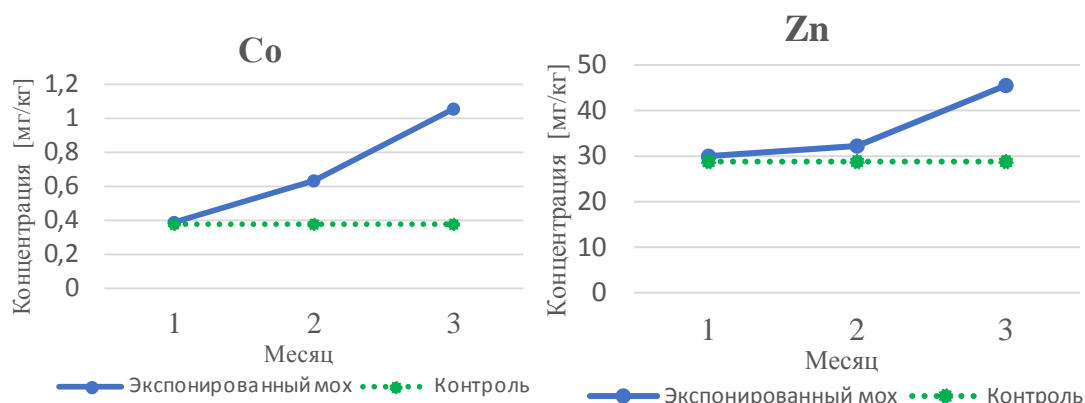


Рис. 4. Накопление некоторых элементов в экспонируемом мхе. Окончание

Мох эффективно аккумулирует в себе тяжелые металлы, он способен быстро накапливать катионы из атмосферных осадков и сухого осаждения, отдавая ионы водорода в обмен. Благодаря своим водонепроницаемым ячейкам, мхи способны удерживать большое количество воды и элементов, накапливающихся за счет физико-химических процессов [12]. На способность аккумуляции мхом элементов влияет количество осадков, направление ветра, время года и другое, что проявилось в неоднородности накопления во времени при общей тенденции к увеличению содержания элементов загрязнителей с увеличением времени экспонирования.

В результате проведенного активного биомониторинга на территории Московского государственного музея-заповедника «Царицыно» получены данные по содержанию 35 химических элементов в составе мха *Sphagnum girgensohnii* с использованием НАА и ААС. Полученные результаты показывают, что вид мха *Sphagnum girgensohnii* может быть использован для проведения активного биомониторинга. Техника «мох в мешках» подходит для применения на территории рекреационных зон Москвы, для оценки загрязнения атмосферного воздуха. Современные методы и методики должны быть экологически безопасными и экономически мало затратными для возможности частого применения, т.к. экологический мониторинг должен проводиться регулярно для своевременного обнаружения проблемы и принятия мер по ее устранению.

Успешное проведение активного биомониторинга с использованием методики «мох в мешках» на территории Государствен-

ного музея-заповедника «Царицыно» явилось обоснованием дальнейших исследований. В период с июня по сентябрь 2018 г. был проведен активный биомониторинг на территории 7 парков Москвы («Царицыно», «Кузьминки-Люблино», «Лосиный остров», «Измайлово», «Сокольник», «Парк Победы», «Останкино»). Для комплексной оценки экологического состояния парков были отобраны почвенные образцы, произведен сбор листьев в начале и в конце вегетационного периода в точках экспонирования мешков со мхом. Получение результаты помогут оценить качество атмосферного воздуха, степень загрязнения почв, выявить источники загрязнения рекреационных зон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Снежка, С. И. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу / С.И. Снежка, О.Г. Шевченко // Уч. зап. РГГМУ. – 2011. – № 18. – С. 57–69.
2. Государственное бюджетное учреждение культуры города Москвы «Государственный историко-архитектурный, художественный и ландшафтный музей-заповедник «Царицыно». – URL: <http://tsaritsyno-museum.ru/en/>. (дата обращения: 04.04.2019).
3. Система мониторинга атмосферного воздуха в Москве. – URL: http://www.dpioos.ru/eco/ru/air_condition/o_1502 (дата обращения: 04.04.2019).
4. Царицыно (музей-заповедник). – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/270394> (дата обращения: 04.04.2019).
5. Anicic M., Tomasevic, M., Tasic M., Rajsic, S., Popovic A., Frontasyeva M.V., Lierhagen S., Steinnes E., Monitoring of trace element atmospheric deposition using dry and wet moss bags:

- Accumulation capacity versus exposure time / M. Anicic, M. Tomasevic, M. Tasic [et al] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – Vol. 171. – P. 182–188. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.112.
6. Aničić, M. Active biomonitoring with wet and dry moss: a case study in an urban area / M. Aničić, M. Tasić, M.V. Frontasyeva [et al] // *Environ Chem Lett*. – 2009. – V. 7. – P. 55–60. – DOI 10.1007/s10311-008-0135-4.
 7. Calabrese, S. Characterization of the Etna volcanic emissions through an active biomonitoring technique (moss-bags): Part 1 – Major and trace element composition / S. Calabrese, W. D’Alessandro, S. Bellomo [et al] // *Chemosphere*. – 2015. – Vol. 119. – P. 1447–1455. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.086.
 8. Culicov, O. A. Study of elemental grouping in Moss-Bags as a function of height and location of the exposure site / O.A. Culicov, O.G. Dului, I. Zinicovscaia // *Romanian Reports in Physics*. – 2016. – Vol. 68, No. 2. – P. 736–745. – URL: http://www.rrp.infim.ro/2016_68_2/A28.pdf.
 9. Culicov, O. A. Active Moss Biomonitoring Applied to an Industrial Site in Romania: Relative Accumulation of 36 Elements in Moss-Bags / O.A. Culicov, R. Mocanu, M.V. Frontasyeva [et al] // *Environ Monit Assess*. – 2005. – Vol. 108. – P. 229–240. – DOI: 10.1007/s10661-005-1688-9.
 10. Elansky, N. Air quality and CO emissions in the Moscow megacity // *Urban Climate*. – 2014. – Vol. 8. – P. 42–56.
 11. Frontasyeva, M. V. Neutron activation analysis in the life sciences // *PEPAN*. – 2011. – Vol. 42. – P. 332–378. – DOI: 10.1134/S1063779611020043. DOI: 10.1134/S1063779611020043.
 12. Goryainova, Z. Assessment of vertical element distribution in street canyons using the moss *Sphagnum girgensohnii*: A case study in Belgrade and Moscow cities / Z. Goryainova, G. Vukovic, M. Anicic Urosevic [et al] // *Atmospheric Pollution Research*. – 2016. – V. 7. – P. 690–697. – DOI: 10.1016/j.apr.2016.02.013.
 13. Resolution of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation of 15.11.2002 N 3302-III DG “On the draft Federal Act N 209067-3” On restricting the turnover of leaded gasoline in the Russian Federation. – URL: <http://www.laws-russia.narod.ru/fed2002/data02/tex12502.htm>.
 14. Rivera, M. Monitoring of heavy metal concentrations in home outdoor air using moss bags / M. Rivera, H. Zechmeister, M. Medina-Ramón [et al] // *Environmental Pollution*. – 2011. – Vol. 159. – P. 954–962. – DOI: 10.1016/j.envpol.2010.12.004.
 15. Hu, Rong. Monitoring Heavy Metal Contents with *Sphagnum Junghuhnianum* Moss Bags in Relation to Traffic Volume in Wuxi / Rong Hu, Yun Yan, Xiaoli Zhou, Yanan Wang [et al] // *China, Int. Public Health*. – 2018. – Vol. 15. – 374 p.
 16. Vuković, G. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: A street study in Belgrade, Serbia / G. Vuković, M. Aničić Urošević, S. Škrivanj [et al] // *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 542. – P. 394–403. – doi:10.20944/preprints201703.0064.v1.
 17. Vuković, G. Active moss biomonitoring of small-scale spatial distribution of airborne major and trace elements in the Belgrade urban area / G. Vuković, M. Aničić Urošević, I. Razumenić [et al] // *Environ Sci Pollut Res Int*. – 2013. – V. 20. – P. 5461–5470. – DOI: 10.1007/s11356-013-1561-9.
 18. Vuković, G. The first survey of airborne trace elements at airport using moss bag technique / G. Vuković, M. Aničić Urošević, S. Škrivanj [et al] // *Environ Sci Pollut Res*. – DOI 10.1007/s11356-017-9140-0.
 19. Zinicovscaia, I. Active moss biomonitoring of trace elements air pollution in Chisinau, Republic of Moldova / I. Zinicovscaia, M. Aničić Urošević, K. Vergel [et al] // *Ecological Chemistry and Engineering S*. – 2018. – Vol. 25(3). – P. 361–372. – DOI: 10.1515/eces-2018-0024.
 20. Zinicovscaia, I.I. Air Pollution Study in the Republic of Moldova Using Moss Biomonitoring Technique / I.I. Zinicovscaia, C. Hramco, O.G. Dului [et al] // *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. – 2017. – Vol. 98(2). – P. 262–269. – DOI: 10.1007/s00128-016-1989-y.