

УДК 528.29:502.53:581.5

**База данных о концентрации элементов в слоевищах  
лишайника *Xanthoria parietina* с присоединенной в 2012 г. к  
Москве территории как «точка отсчёта» для долговременного  
мониторинга качества воздушной среды**

**Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А.**

*Лаборатория радиоэкологического мониторинга в регионах АЭС и  
биоиндикации ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН; e-mail: [lev.biazrov@rambler.ru](mailto:lev.biazrov@rambler.ru)*

**Резюме:**

Приведены данные о концентрации элементов в слоевищах эпифитного лишайника *Xanthoria parietina*, собранных на 17 участках присоединенной в 2012 г. к Москве территории, всего 170 проб. Для каждой пробы указаны координаты места отбора. Результаты измерений рассматриваются как «точка отсчёта» для возможного мониторинга состояния воздушного бассейна обследованной территории по показателям биоты лишайников.

Ключевые слова: *Москва; мониторинг; лишайники; Xanthoria parietina; элементы.*

Key words: *Moscow; monitoring; lichens; Xanthoria parietina; elements.*

Использование данного материала просим цитировать как:

Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А. 2013. База данных о концентрации элементов в слоевищах лишайника *Xanthoria parietina* с присоединенной в 2012 г. к Москве территории как «точка отсчёта» для долговременного мониторинга качества воздушной среды //

URL: [http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov\\_Xanthoria\\_parietina.pdf](http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_Xanthoria_parietina.pdf)

*Работа выполнена в Лаборатории радиоэкологического мониторинга в регионах АЭС и биоиндикации Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН и финансировалась Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития».*

*Данный материал по просьбе авторов опубликован в Интернете на сайте ИПЭЭ сотрудниками Кабинета биоинформатики и моделирования биологических процессов ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН.*

## Введение

Особенности биологии и физиологии лишайников как пойкилогидридных организмов, не имеющих приспособлений, препятствующих проникновению в их тела различных загрязнителей, медленный и длительный рост талломов, невыразительность реакций на сезонные явления, географически обширные ареалы многих видов обусловили использование их как биомониторов загрязнения среды не только газами, но и такими загрязнителями как токсичные металлы и неметаллы, органические соединения, поскольку динамику химического состава талломов лишайников в пространстве и во времени связывают с изменением свойств среды их обитания (Бязров, 2002, 2005; Пельгунова, Бязров, 2008; Бязров, Пельгунова, 2010, 2012а, б).

Исследования, базирующиеся на способности лишайников накапливать в своих телах различные химические вещества, в своих выводах опираются на сведения о химическом составе лишайников, динамику концентрации элементов в слоевищах отдельных видов во времени и/или пространстве. Среди них можно выделить два основных типа: (1) устанавливающие фоновый уровень или «точку отсчета» концентрации избранного ряда элементов или соединений в талломах ограниченного числа видов лишайников для определения долговременного варьирования содержания этих веществ на избранной территории, что предполагает повторное измерение химического состава лишайников через некоторые промежутки времени; при этом изменчивость химического содержания лишайников в пространстве обычно составляет сопутствующую проблему таких исследований; (2) устанавливающие особенности только пространственной вариабельности химического состава лишайников для определения влияния изолированных или конгломерата источников специфических загрязнителей и разделения загрязнителей природного и техногенного происхождения; при этом изменчивость химического состава лишайников во времени может быть сопутствующей проблемой таких исследований. На практике для достоверного суждения о свойствах среды по имеющимся сведениям о показателях лишайников важно знать варьирование содержания загрязнителей в их телах как во времени, так и в пространстве

В 2012 г. к Москве присоединили юго-западную часть территории Московской области вплоть до границы с Калужской областью. Эта обширная (около 150 тыс. га) территория, несомненно, будет интенсивно осваиваться в соответствии со столичными функциями города, что приведет к значительному изменению её природных комплексов. Проведённое авторами исследование в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» предусматривало зафиксировать уровни концентрации ряда элементов в слоевищах эпифитного лишайника, собранных на разных участках присоединенной к Москве территории, чтобы эти данные стали «точкой отсчёта» для последующего мониторинга по такому показателю как

концентрация элементов в слоевище лишайника, чтобы судить о возможных изменениях качества воздушной среды в ходе освоения территории.

Наш материал, публикуемый на сайте ИПЭЭ, представляет этап работы по созданию сети участков и базы данных для мониторинга состояния среды по сведениям о показателях биоты лишайников на обследованной территории. Мы решили разместить его в Интернете, с одной стороны, чтобы сделать результаты исследования доступными широкому кругу специалистов, с другой – значительный объём материала не позволяет надеяться на его публикацию в научном журнале.

### Территория, материал, методы

Первого июля 2012 г. столица России г. Москва значительно расширила свою территорию за счет присоединения к её прежней части земель Московской области (рис. 1), г.о. сектор, примыкающий к Московской кольцевой автодороге (МКАД) между Киевским шоссе на западе, Варшавским – на востоке, Большим кольцом Московской железной дороги и границей с Калужской областью – на юге (всего около 150 тыс. га). Расстояние от МКАД до границы с Калужской областью по прямой составляет около 55 км, а между крайними западными и восточными точками присоединенной территории – около 45 км. На этой территории находились населённые пункты различной категории (города, городские посёлки, сельские поселения), а также садовые и дачные участки, сельскохозяйственные угодья, земли лесного фонда<sup>2</sup> с хвойно-лиственными лесами. Территорию в разных направлениях пересекают автомобильные и железные дороги, часть её площади занимает аэропорт «Внуково».

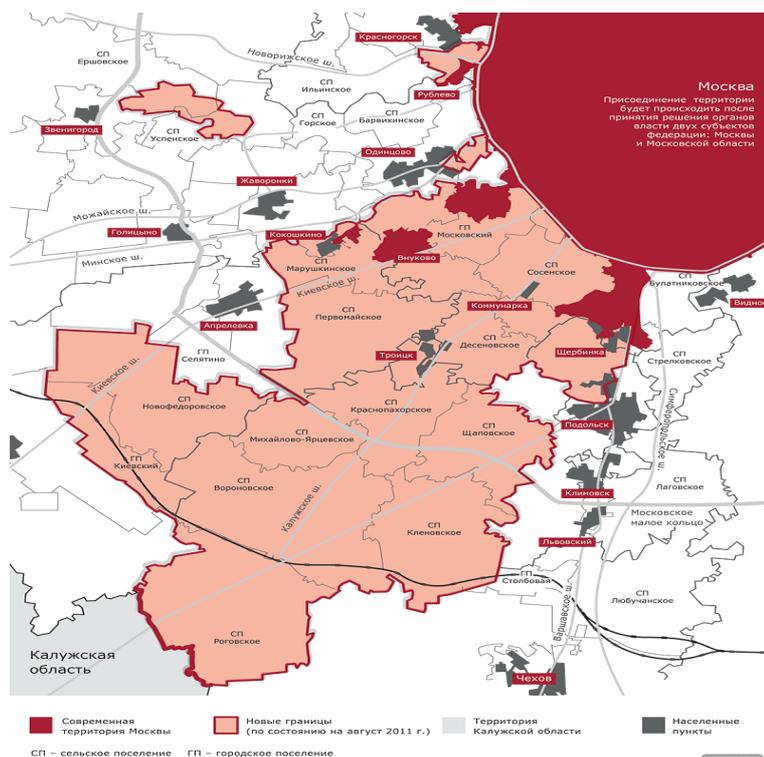


Рис. 1. Территория Московской области, присоединенная к Москве в 2012 г.

Для создания сети участков для длительного мониторинга за показателями эпифитной лишайной биоты по результатам рекогносцировочного обследования присоединенная территория была разделена на примерно равные по площади участки с целью более детального обследования каждого из них по единой методике. Границами участков стали каждые 05' широты и 10' долготы, начиная с 55° с.ш. на юге и 36°50' в.д. на западе. Всего таких участков оказалось 17 (их рабочие наименования соответствуют наиболее значимым населенным пунктам и ж/д платформам в пределах участка): Картмазово-Московский, Внуково-Мичуринец, Ожигово-Рассудово, Манчихино, Кресты-Юрьевка, Рогово-Бунчиха, Жохово-Клёново, свх.Вороново-Ясенки, Курилово- Кисилево, Бутово- Щербинка, Плесково-Ярцево, Яковлево, Птичное-Рогозиново, Красная Пахра-Поляны, Секерино, Чириково, Ракитки-Филимонки.



**Рис. 2.** *Xanthoria parietina* (L.) Th.Fr., акцептор элементов.

Для выявления динамики величин концентрации элементов в слоевищах лишайника в качестве акцептора элементов в исследовании был использован эпифитный листоватый вид *Xanthoria parietina* (L.) Th.Fr., поскольку его представители, как было установлено в ходе рекогносцировочного обследования территории, встречаются очень часто в инсолируемых местообитаниях и его слоевища сравнительно легко могут

быть отделены от субстрата. Этот нитрофитный вид широко распространен на нашей планете (представлен на всех континентах, кроме Антарктиды), встречается преимущественно на коре деревьев и древесине, но растёт и на каменистом субстрате, естественном и искусственном. В Москве *X. parietina* присутствует на деревьях во всех районах города (Бязров, 2009). Этот лишайник нередко используют в индикационных исследованиях (Brown, 1973; Augusto et al., 2009; Achotegui-Castells et al., 2013).

Чтобы уравнивать все пробы по времени сбора, в течение лета и начала осени 2012 г. пробы этого лишайника были собраны со всех 17 названных участков, по 10 с каждого, всего 170. Слоевища лишайника собирали на взрослых отдельно стоящих и прямо растущих лиственных деревьях на высоте от 1,0 до 1,8 м от поверхности почвы. Слоевища лишайников срезались вместе с субстратом (корой). При этом стремились отобрать талломы примерно одного размера и, соответственно, сходного возраста. Образцы помещались в полиэтиленовые пакеты, которые, в свою очередь, помещались в бумажные пакеты, на которых писалась этикетка с указанием вида древесной породы, места и даты отбора. Положение каждого дерева, с которого отбирали пробу для измерения концентрации элементов, позиционировалось по GPS с точностью до секунды, что позволит в будущем найти это место и собрать слоевища для повторного измерения.

В лаборатории проводилось обмывание каждой пробы деионизированной водой, с одной стороны, для удаления с поверхности слоевищ посторонних частиц, с другой – для облегчения отделения влажного слоевища от субстрата. Влажные слоевища отделяли от субстрата с помощью стеклянных и пластмассовых шпателей и вновь обмывали их деионизированной водой. Очищенные части слоевищ помещали в пакеты из кальки. Полученные таким образом чистые пробы лишайников предварительно сушили в сушильном шкафу при температуре 105°C. Высушенные образцы затем измельчали растиранием в агатовой ступке до получения пудры с размером частиц не более 50 мкм. Из полученной массы отбиралась навеска 25-35 мг (взвешивание проводилось на аналитических весах фирмы Mettler, AE240, точность до пятого знака), из которой готовили образцы в виде суспензии (связующим компонентом являлся 1% водный раствор Triton X100). Аликвоту полученной суспензии наносили непосредственно на прободержатель и высушивали при температуре 40-50°C. Все манипуляции с лишайниками проводили в специальной одноразовой пластиковой посуде.

Качественный и количественный элементный состав в подготовленных таким образом лишайниковых препаратах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (TXRF) в Лаборатории радиоэкологического мониторинга в регионах АЭС и биоиндикации ИПЭЭ РАН. Принцип рентгенофлуоресцентной спектроскопии базируется на том, что атомы под воздействием мягкого гамма- или рентгеновского излучения индуцируют вторичное флуоресцентное рентгеновское излучение. Длина волны и энергия флуоресцентного излучения имеют определенное значение

для каждого элемента. Специальная аппаратура с энергодисперсионным детектором регистрирует вторичное характеристическое рентгеновское излучение каждого присутствующего в образце элемента, а интенсивность его, по которой рассчитывается концентрация любого элемента, измеряется с помощью усилителя, соединенного с многоканальным анализатором. Абсолютная чувствительность данного метода – в среднем  $10^{-12}$  %.

Измерение элементного состава и концентрации элементов проводили на спектрометрической установке S2 PICOFOX (производитель BRUKER, Германия). Для количественного определения использовался метод внутреннего стандарта, т.е. в каждый образец вводился элемент определенной концентрации, не присутствующий в пробе. В данном случае использовался раствор селена (Se) азотнокислого с концентрацией 10 мкг/мл, приготовленный из стандартного образца инв. № 32116, собственный № A09R023 (Alfa Aesar, A Johnson Matthey Company).

При TXRF анализе препараты помещаются на отражающую рентгеновские лучи подложку диаметром 30 мм, изготовленную из акрилового или кварцевого стекла. Процесс качественного и количественного анализа включал следующие шаги:

- измерение всего спектра (линии всех элементов измеряются одновременно);
- оценка спектра, выделение определяемых элементов;
- расчет концентраций выделенных элементов.

Полученные первичные данные затем подвергались ревизии, пробы, по которым появлялись вопросы, измерялись повторно, уточнялась оценка спектров и происходила коррекция первичных данных. Статистическая обработка полученных величин концентрации элементов проведена с использованием соответствующего приложения программы Microsoft Office Excel 2003.

## Результаты и обсуждение

Названным ранее методом во всех измеренных пробах лишайников обнаружено наличие 26 элементов: P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Hg, Pb, Bi ( [таблица в приложении](#), последовательность расположения элементов соответствует Периодической системе). Согласно принятой классификации ингредиентов выбросов вредных веществ (Общероссийский классификатор...), из выявленных элементов к классу опасности 1 принадлежат V, Cr, Co, Cd, Hg, Pb, Элементы Cl, Cu, Mn, Ni, Zn, As относятся к классу опасности 2, а соединения Fe, Sb, Bi – к классу опасности 3. Ca, Fe, K, Ti имеют высокое содержание в земной коре, их кларки 4.1, 4.1, 2.1 и 0.55 %, соответственно (Эмсли, 1993). Из этих четырех элементов первые три необходимы для жизнедеятельности организмов, участвуют в формировании тканей растений и животных. Стабильный щелочной металл Sr практически безвреден, его роль в составе земной коры не столь высока, как железа, но достаточно заметна – кларк

элемента составляет  $3.7 \cdot 10^{-2}$  % (Эмсли, 1993). Формы Ag, W обычно нерастворимы и не токсичны. Pb токсичен и при накоплении в организме действует как яд. В окружающую среду свинец поступает главным образом с выбросами двигателей автотранспорта; используется в элементах электропитания, в красках, при изготовлении стекла.

Концентрацию элементов в объектах окружающей человека среды обычно определяют с целью установления степени загрязнения среды. В Законе Российской Федерации «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ (Российская газета за 12 января 2002 г., № 6) загрязнение определяется как «поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду», а загрязнителем среды считается «вещество или смесь веществ, количество и (или) концентрация которых превышают установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов нормативы и оказывают негативное воздействие на окружающую среду» (статья 1). Таким образом, загрязнением обозначают процесс поступления в среду различных веществ после того, как их содержание в среде достигает некоторой нормируемой критической для человека величины – предельно допустимой концентрации (ПДК), превышение которой негативно для населения. Нормирование осуществляют государственные органы. К сожалению, содержание веществ в лишайниках не нормируется. Но и нормы для пищевых продуктов также не могут быть ориентиром. Так, ПДК в пищевых продуктах растительного происхождения для As составляет 0,2 мг/кг, Cr – 0,1-0,3, Cu – 5-10, Fe – 50, Mn – 1500, Ni – 0,5, Pb – 0,2-0,5, Sb – 0,1-0,3, Zn – 10-25 мг/кг (Беспамятов, Кротов, 1985). Но эти величины установлены для материала (зерно, овощи, фрукты), который сформировался в течение несколько месяцев (вегетационного периода), тогда как возраст отбираемых для анализов слоевищ лишайников превышает пять лет, а чаще этот показатель более 10 лет. Кроме того, элементы в лишайники поступают из воздушной среды. Так что не удивительно, что приведенные выше значения ПДК элементов в пищевых продуктах намного ниже величин концентрации этих элементов в лишайниках. Поэтому при использовании сведений о концентрации элементов в лишайниках в пространственном или временном мониторинге ориентируются либо на аналогичные данные из ближайших «фоновых» территорий, либо на материалы предшествующих измерений. Авторы, планируя данное исследование, полагали, что представляемые здесь результаты измерений концентрации элементов в слоевищах лишайника *Xanthoria parietina* станут «точкой отсчёта» в будущем мониторинге качества среды обследованной территории по показателям биоты лишайников.

## Литература

Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л.: Химия. 1985. 528 с.

Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир. 2002. 336 с.

Бязров Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. М.: КМК. 2005. 476 с.

Бязров Л.Г. Эпифитные лишайники г. Москвы: современная динамика видового разнообразия. М.: КМК. 2009. 146 с.

Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А. Динамика содержания элементов в слоевищах эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* из Подмосковья // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2010. № 1. С. 90.

Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А. Пространственно-временные тренды величин концентрации некоторых элементов в слоевищах эпифитных лишайников из Подмосковья и ряда районов Москвы // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2012а. Т. 117. Вып. 1. С. 59-69.

Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А. Градиентный анализ содержания мышьяка (As) в слоевищах эпифитного лишайника для установления воздействия металлургического завода на окружающую территорию // Современная микология в России. Том 3.. М.: Национальная академия микологии. 2012б. С. 243.

Общероссийский классификатор ингредиентов выбросов вредных веществ // Электр. ресурсы.

URL: <http://citysoft.mosmap.ru/ClassIng/ClassIng.htm>

Пельгунова Л.А., Бязров Л.Г. Первые данные о концентрации элементов в слоевищах эпифитного лишайника на деревьях центра Москвы // Современная микология в России. Т.2. М.: Национальная академия микологии. 2008. С. 534.

Эмсли Д.. Элементы. Перевод с английского. М.: Мир. 1993. 256 с.

Achotegui-Castells A., Sardans J., Ribas A., Peñuelas J. Identifying the origin of atmospheric inputs of trace elements in the Prades Mountains (Catalonia) with bryophytes, lichens, and soil monitoring // Environmental Monitoring & Assessment. 2013. Vol. 185. P. 615-629.

Augusto S., Maguas C., Branquinho C. Understanding the performance of different lichen species as biomonitors of atmospheric dioxins and furans: potential for intercalibration. // Ecotoxicology. 2009. Vol. 18. P. 1036-1042.

Brown D.H. Toxicity studies on the components of an oil-spill emulsifier using *Lichina pygmaea* and *Xanthoria parietina* // Marine Biology. 1973. Vol. 18. P. 291-297.