

УДК 528.29:502.53:581.5

КОНЦЕНТРАЦИИ СВИНЦА (Pb) В СЛОЕВИЩАХ ЛИШАЙНИКА *XANTHORIA PARIETINA* С РАЗНЫХ УЧАСТКОВ ПРИСОЕДИНЕННОЙ В 2012 г. К МОСКВЕ ТЕРРИТОРИИ

Л.Г. Бязров, Л.А. Пельгунова

Представлены данные о концентрации свинца в слоевищах эпифитного лишайника *Xanthoria parietina*, собранных в 2012 г. на присоединенной в тот же год к Москве части Московской обл. Эта территория была разделена на 17 участков, на каждом из которых вне поселений и вдали от автотрасс со стволов лиственных деревьев отобрали по 10 лишайниковых проб. Величины средней концентрации Pb варьируют от 0,28 до 8,30 при среднем значении 2,42 мг/кг для всех 170 проб. Определены коэффициенты обогащения Pb, нормализованные относительно Ti. Их значения на участках составляют от 1 до 85,5 при средней величине 19,3 для всех 17 участков. Проведено ранжирование обследованной территории по показателям средней концентрации металла в слоевищах. Повышенными концентрациями свинца выделяются северные участки, примыкающие с юга к прежней территории города. Полученные результаты предлагаются как «точка отсчета» для мониторинговых исследований качества воздуха на обследованной территории.

Ключевые слова: лишайники, *Xanthoria parietina*, свинец, токсичность, концентрация, качество воздуха, мониторинг, Москва.

В 2012 г. к Москве присоединили юго-западную часть территории Московской обл. вплоть до границы с Калужской обл. Эта обширная (около 150 тыс. га) территория, несомненно, будет интенсивно осваиваться в соответствии со столичными функциями города, что приведет к значительному изменению ее природных комплексов. Чтобы в будущем судить о возможном воздействии освоения территории на ее природу, необходимо иметь объективные данные о состоянии природного комплекса до начала освоения, своеобразные «точки отсчета» для будущих мониторинговых исследований. Следствием урбанизации территории, как правило, является ухудшение качества воздуха, что становится причиной многих заболеваний населения ((Шешунов и др., 1999).

Признанными индикаторами состояния воздушно-го бассейна считаются лишайники. Особенности их биологии и физиологии как пойкилогидридных организмов, не имеющих приспособлений, препятствующих проникновению в их тела разных 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, неметаллы и органические соединения, поскольку динамику химического состава талломов лишайников в пространстве и во времени связывают с изменением свойств среды их обита-

ния (Бязров, 2002, 2005; Пельгунова, Бязров, 2008; Бязров, Пельгунова, 2010, 2012а, б; Ерофеева, 2013; Шевченко и др., 2013).

Исследования, базирующиеся на способности лишайников накапливать в своих телах разные химические вещества, в своих выводах опираются на сведения о химическом составе лишайников и динамике 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 источников специфических загрязнителей или их конгломерата при разделении 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 о изменении содержания загрязнителей в их телах как во времени, так и в пространстве (Bargagli, Mikhailiva, 2002; Garty, 2002).

На сайте Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН размещены наши данные (Бязров, Пельгунова, 2013) о концентрации элементов в 170 пробах слоевищ лишайника *Xanthoria parietina* (L.) Th.Fr. как база данных для будущих мониторинговых исследований на присоединенной к Москве территории. В представляемой работе мы анализируем пространственное распределение концентраций свинца (Pb) в слоевищах этого лишайника, собранных здесь летом и осенью 2012 г. после официального изменения границ Москвы.

Акцентирование внимания на свинце обусловлено тем, что наряду с Cd, Hg и рядом других элементов, Pb как токсичный металл, согласно классификации ингредиентов выбросов вредных веществ, относится к классу опасности 1 (Общероссийский классификатор...). В отличие от многих металлов свинец, как и кадмий, не принадлежит к элементам, необходимым для жизнедеятельности организмов (Серегин, Иванов, 2001). При накоплении в организме Pb действует как яд, поскольку нарушает функции жизненно важных белков, таких, как калмодулин, участвующий в регулировании обмена ионов кальция, и фермент дегидратаза δ -аминолевулиевой кислоты, необходимый для биосинтеза гемоглобина (Gourlaouen, Parisel, 2007). При отравлениях людей свинцом поражаются как кожа, так и внутренние органы, а также нервная система и психика (Demayo et al., 1982; Kovarik, 2005; Smith, Nriagu, 2011; Hess et al., 2013). В настоящее время в окружающую среду свинец попадает главным образом с выбросами двигателей автотранспорта, тепловых электростанций и металлургических предприятий; Pb используется в элементах электропитания, в красках, при изготовлении боеприпасов, стекла (Свинец..., 1987; Lessler, 1988). При этом автотранспорт вносит основной вклад в общий объем поступающих в атмосферу соединений свинца. Например, в 1983 г. в атмосферу территорий США, Западной Европы и Советского Союза суммарно поступило 344 т Pb, из которых 332 т были антропогенного происхождения, в том числе 248 т – из выбросов автомобилей, поскольку в качестве топлива использовался бензин с добавлением тетраэтилсвинца (Nriagu, Расуна, 1988; Nriagu, 1989). С повышенным уровнем соединений свинца в окружающей среде связывают высокие показатели заболеваний крови у населения (особенно детей) крупных городов (Nriagu, 1988). Например, у жителей Самары коэффициенты корреляции

этих заболеваний со свинцом составили 0,75 и 0,68 соответственно (Шешунов и др., 1999). Предполагают, что пагубному воздействию соединений свинца на здоровье во всем мире подвержены от 130 до 200 миллионов человек (Nriagu, 1990a). На урбанизированных территориях загрязнение воздуха свинцом от автотранспорта преобладает над загрязнением от промышленных предприятий (Зайцева и др., 1999). А значительное увеличение нагрузки автомобильного транспорта на присоединенную к Москве территорию неизбежно, поэтому мониторинг состояния атмосферы в городе, по нашему мнению, непременно должен включать и соединения свинца, хотя использование этилированного бензина снижается (Nriagu, 1990b).

Территория, материал, методы

Первого июля 2012 г. столица России г. Москва значительно расширила свою территорию за счет присоединения части земель Московской обл. – 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 обл. по прямой составляет около 55 км, а между крайними западными и восточными точками присоединенной территории – около 45 км. На этой территории находятся населенные пункты разной категории (г. Троицк, городские поселки, сельские поселения), а также садовые и дачные участки, сельскохозяйственные угодья, земли лесного фонда с хвойно-лиственными лесами. Территорию в разных направлениях пересекают автомобильные и железные дороги, часть ее площади занимает аэропорт «Внуково».

Присоединенная территория для создания сети участков длительного мониторинга за показателями эпифитной лишайнобиоты по результатам рекогносцировочного обследования нами была разделена на примерно равные по площади участки в целях более детального обследования каждого из них по единой методике. Границами участков стали каждые 5' широты и 10' долготы, начиная с 55°10' 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): I – Рогово-Бунчиха (между 55°10'–55°15' с.ш. и 37°00'–37°10' в.д.), II – Жохово-Кленово (между 55°15'–55°20' с.ш. и 37°20'–37°30' в.д.), III – Вороново-Ясенки (между 55°15'–55°20' с.ш. и 37°10'–37°20' в.д.), IV – Кре-

сты–Юрьевка (между 55°15′–55°20′ с.ш. и 37°00′–37°10′ в.д.), V – Курилово–Кисилево (между 55°20′–55°25′ с.ш. и 37°20′–37°30′ в.д.), VI – Чириково (между 55°20′–55°25′ с.ш. и 37°10′–37°20′ в.д.), VII – Плесково–Ярцево (между 55°20′–55°25′ с.ш. и 37°00′–37°10′ в.д.), VIII – Манчихино (между 55°20′–55°25′ с.ш. и 36°50′–37°00′ в.д.), IX – Яковлево (между 55°25′–55°30′ с.ш. и 37°20′–37°30′ в.д.), X – Красная Пахра–Поляны (между 55°25′–55°30′ с.ш. и 37°10′–37°20′ в.д.), XI – Секерино (между 55°25′–55°30′ с.ш. и 37°00′–37°10′ в.д.), XII – Ожигово–Рассудово (между 55°25′–55°30′ с.ш. и 36°50′–37°00′ в.д.), XIII – Бутово–Щербинка (между 55°30′–55°35′ с.ш. и 37°30′–37°40′ в.д.), XIV – Ракитки–Филимонки (между 55°30′–55°35′ с.ш. и 37°20′–37°30′ в.д.), XV – Птичное–Рогозиново (между 55°30′–55°35′ с.ш. и 37°10′–37°20′ в.д.), XVI – Картмазово–Московский (между 55°35′–55°40′ с.ш. и 37°20′–37°30′ в.д.), XVII – Внуково–Мичуринец (между 55°35′–55°40′ с.ш. и 37°10′–37°20′ в.д.).

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, его слоевища сравнительно легко могут быть отделены от субстрата. Этот вид широко распространен на нашей планете (представлен на всех континентах, кроме Антарктиды), встречается преимущественно на коре деревьев и древесине, но растет и на каменном субстрате (естественном и искусственном). В Москве *X. parietina* присутствует на деревьях во всех районах города, причем встречаемость представителей вида в городе в 2006 г. по сравнению с 1990 г. значительно увеличилась (Бязров, 2009). Этот лишайник нередко используют в индикационных и биомониторинговых исследованиях (Brown, 1973; Augusto et al., 2009; Agnan 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 вне населенных пунктов на расстоянии не менее 300 м от автодорог с взрослых отдельно стоящих и прямо растущих листовенных деревьях на высоте от 1,0 до 1,5 м от поверхности почвы. Поселения и автостреды избегали, поскольку обследуемую часть стволов деревьев там нередко покрывают слоем извести. Слоевища ли-

шайников срезались вместе с субстратом (корой). При этом стремились отобрать талломы одного размера (около 4 см в диаметре) и, соответственно, примерно сходного возраста. Образцы помещали в полиэтиленовые пакеты, которые, в свою очередь, вкладывали в бумажные пакеты, на которых писались 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 пыли с размером частиц не более 50 мкм. Из полученной массы отбирали навеску 25–35 мг (взвешивание проводили на аналитических весах «АЕ240» фирмы «Mettler», точность до пятого знака), из которой готовили образцы в виде суспензии (связующим компонентом являлся 1%-й 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 рентгено-флуоресцентного анализа (TXRF) на спектрометрической установке «S2 PICOFOX» («Bruker», Германия) в лаборатории экологического мониторинга в регионах АЭС и биоиндикации ИПЭЭ РАН. Принцип рентгенофлуоресцентной спектроскопии и особенности работы на приборе мы подробно характеризовали ранее (Бязров, Пельгунова, 2012а; 2013), что позволяет нам в данном сообщении это не повторять.

Для определения вклада различных источников в формирование элементного состава слоевищ лишайника с разных участков был рассчитан коэффициент обогащения свинца ($КО_{Pb}$) относительно среднего

состава элемента в верхней части континентальной земной коры:

$$КО_{Ti} = (Pb/Ti)_{\text{проба}} / (Pb/Ti)_{\text{земная кора}}$$

Поскольку на обследованной территории преобладают глинистые почвы, коэффициент $КО_{Ti}$ был вычислен относительно среднего содержания свинца в глинах и глинистых сланцах – 0,0014% (Григорьев, 2003) и нормализован относительно концентрации титана (Ti).

Статистическая обработка полученных величин концентрации элементов проведена с использованием соответствующего приложения программы Microsoft Office Excel 2003.

Результаты и обсуждение

Сведения о средней концентрации свинца в слоевищах *X. parietina* на каждом из 17 участков и другие статистические показатели измерений показаны в табл. 1. Концентрацию элементов в объектах окружающей человека среды обычно определяют в целях 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, хотя некоторые виды используют в производстве пищевых, фармацевтических продуктов (Бязров, 2000). ПДК в пищевых продуктах растительного происхождения для Pb составляет 0,2–0,5 мг/кг (Беспамятов, Кротов, 1985). Однако эти величины установлены для материала (зерно, овощи, фрукты и т.д.), который сформировался в течение несколько месяцев (вегетационного периода), тогда как возраст отбираемых для анализов слоевищ лишайников превышает пять, а чаще 10, лет. Кроме того, элементы в лишайники поступают из воз-

душной среды. Не удивительно, что приведенные в табл. 1 средние величины концентрации свинца (от 0,28 до 8,30 мг/кг) в слоевищах *X. parietina* выше ПДК свинца в пищевых продуктах. Однако на трех участках (II, VI и XV) концентрация Pb в телах лишайника соответствуют ПДК для пищевых продуктов растительного происхождения, да и средние величины концентрации свинца в лишайнике из других участков обследованной территории практически не отличаются от аналогичных фоновых показателей для этого вида из относительно «чистых» районов. Так, в окрестностях г. Черкассы (Украина) концентрация Pb в слоевищах *X. parietina* в 2010–2012 гг. составляла 4,6 мг/кг (Корнелюк, 2013), в Каталонии (Испания) в 2008 г. – от 1,23 до 8,92 мг/кг (Ashotegui-Castells et al., 2013), в районе г. Тулуза (Франция) в 2010 г. – от 1,90 до 8,38 мг/кг, тогда как в образцах, собранных там же в 1900 г. – от 9,38 до 24,47 мг/кг (Agnan et al., 2013), на Анатолийском плато (Турция) в 2005 г. – от 0,90 до 1,60 мг/кг (Mendil et al., 2009).

Следует отметить высокие значения коэффициента варьирования (от 44 до 117, в среднем 82%) индивидуальных величин концентрации свинца в пробах слоевищ *X. parietina* с обследованных участков (табл. 1), что свидетельствует о гетерогенности мест отбора проб лишайника. С другой стороны, вероятно, не следует оперировать только средними величинами концентрации и пренебрегать ее максимальными значениями, поскольку последние показывают потенциал возможного аккумуляирования элемента на участках.

Средняя величина коэффициента обогащения ($КО_{Ti}$) свинца для всей обследованной территории равна 19,3 при варьировании его значения на участках от 1 до 85,5 (табл. 1). Величины $КО_{Ti} < 5$ свидетельствуют преимущественно о литогенном источнике Pb в слоевищах, тогда как значения $КО_{Ti} > 5$ показывают, что источником свинца является также и атмосфера, и чем выше значение $КО_{Ti}$, тем больше ее роль как источника элемента в слоевищах лишайника.

Попарное сравнение величин концентрации Pb в конкретных пробах всех 17 участков с применением критерия Стьюдена (t) показало, что в 36% случаев различия между участками по этому показателю статистически ($p < 0,05$) не значимы (табл. 2). Эти данные стали основой пространственного группирования участков по отсутствию статистически значимых различий между величинами средней концентрации свинца в слоевищах лишайника (рисунок). Один кластер образовали участки с минимальными их значениями (II, VI, VII и XV), другой – с повышенными (III, XII–XIV, XVI и XVII), в третий вошли участки

Таблица 1
Средняя концентрация (мг/кг) свинца и другие количественные показатели для лишайника *Xanthoria parietina* с участков присоединенной в 2012 г. к Москве территории

Участок и его индекс	Статистические показатели						коэффициент обогащения (КО _П)
	среднее значение	стандартная ошибка (±)	стандартное отклонение	минимальное значение	максимальное значение	коэффициент вариации, %	
Рогово–Бунчиха (I)	1,41	0,33	0,99	0,21	3,39	70	14,6
Жохово–Клёново (II)	0,43	0,11	0,35	0,06	0,99	81	1,6
Вороново–Ясенки (III)	3,47	0,94	2,98	0,10	9,11	87	23,0
Кресть–Юрьевка (IV)	1,04	0,27	0,87	0,12	2,63	84	11,5
Курилово – Кисилево (V)	1,16	0,32	1,01	0,06	3,21	87	12,5
Чириково (VI)	0,39	0,09	0,28	0,08	0,89	72	3,9
Плесково–Ярцево (VII)	0,47	0,09	0,30	0,07	1,05	64	3,1
Манчихино (VIII)	0,61	0,09	0,27	0,19	0,97	44	7,2
Яковлево (IX)	0,65	0,13	0,40	0,13	1,08	62	8,1
Красная Пахра–Поляны (X)	0,66	0,14	0,45	0,10	1,28	68	7,6
Секерино (XI)	1,04	0,39	1,22	0,01	4,05	117	5,8
Ожигово–Расудово (XII)	2,85	1,04	3,11	0,14	7,06	109	15,1
Бутово–Щербинка (XIII)	5,62	1,13	3,57	1,21	12,3	64	55,7
Ракитки–Филмонки (XIV)	8,30	1,73	5,47	2,11	19,10	66	40,9
Птичное–Рогозиново (XV)	0,28	0,09	0,27	0,04	0,84	96	1,0
Картмазово–Московский (XVI)	6,66	2,32	7,34	1,45	26,80	110	85,5
Внуково–Мичуринец (XVII)	6,11	2,18	6,90	0,76	22,00	113	30,9
Среднее для 17 участков	2,42	0,64	2,62	0,01	26,80	82	19,3

Т а б л и ц а 2

Показатели статистически значимых различий ($p < 0,05$) величин концентрации свинца в слоевищах *X. parietina* с разных участков (0 – различия значимы, 1 – различия статистически не достоверны)

Участок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII
I	#	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
II		#	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
III			#	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
IV				#	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
V					#	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
VI						#	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
VII							#	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
VIII								#	1	1	1	0	0	0	0	0	0
IX									#	1	1	0	0	0	0	0	0
X										#	1	0	0	0	0	0	0
XI											#	0	0	0	0	0	0
XII												#	0	0	0	1	1
XIII													#	1	0	1	1
XIV														#	0	1	1
XV															#	0	0
XVI																#	1
XVII																	#

с промежуточными величинами (I, IV, V, VIII–XI). Такое деление обследованной территории в целом представляется закономерным, поскольку участки с повышенными величинами концентрации Pb в основном располагаются в северной ее части, примыкающей к прежней территории Москвы, границей которой была МКАД. Исключение составляют участки III (совхоз Вороново–Ясенки) и XII (Ожигово–Рассудово), где средние концентрации Pb в слоевищах заметно ниже (3,47 и 2,85 мг/кг соответственно), чем в слоевищах с других участков этого кластера. Однако эти величины статистически не отличаются от значений концентрации на тех участках. В то же время названные величины статистически отличаются от значений концентрации Pb для участков двух других кластеров. Примерно также участки территории группируются и по показателям коэффициента обогащения (KO_{Ti}).

Наличие в упомянутой ранее базе данных сведений о концентрации других элементов в тех же пробах (Бязров, Пельгунова, 2013) позволило определить коэффициенты корреляции концентрации Pb с концентрациями измеренных элементов. В целом для всей территории (170 проб) значимые положительные концентрации свинца установлены только с V, Cd и Sn (0,5, 0,5 и 0,7 соответственно). Однако

на обследованных участках набор элементов, с которыми коррелирует Pb, варьирует. Так, на участке XV (Птичное–Рогозиново), где отмечена наиболее низкая величина средней концентрации Pb, этот элемент положительно значимо коррелирует только с As и Sn, а отрицательно – с K, Cr, Cu; на участке XVII (Внуково–Мичуринец) Pb положительно коррелирует с S, Cl, Ti, Cr, Co, Ni, Cu. На последнем участке, вероятно, сказывается влияние промзоны «Очаково», расположенной по соседству, в пределах МКАД. Можно отметить тенденцию – чем ближе участок к прежней границе Москвы, тем разнообразнее набор элементов, с которыми у Pb значимые корреляции, положительные и отрицательные.

Ранее было отмечено, что на обследованной территории концентрация Pb в слоевищах *X. parietina* в целом близка к концентрациям этого элемента в слоевищах того же вида из «чистых» районов ряда стран. В загрязненных районах этот показатель гораздо выше. Например, концентрация свинца в слоевищах *X. parietina* в августе 1995 г. на разном удалении от автомагистрали между Парижем и Лиллем (Франция) колебалась от 25 до 205 мг/кг (Cuny et al., 2001), в Люксембурге в 2005 г. в 350 м от металлургического завода – 107 мг/кг (Hissler et al., 2008), в Турции в 2006 г. в промзоне побережья Измирского залива –

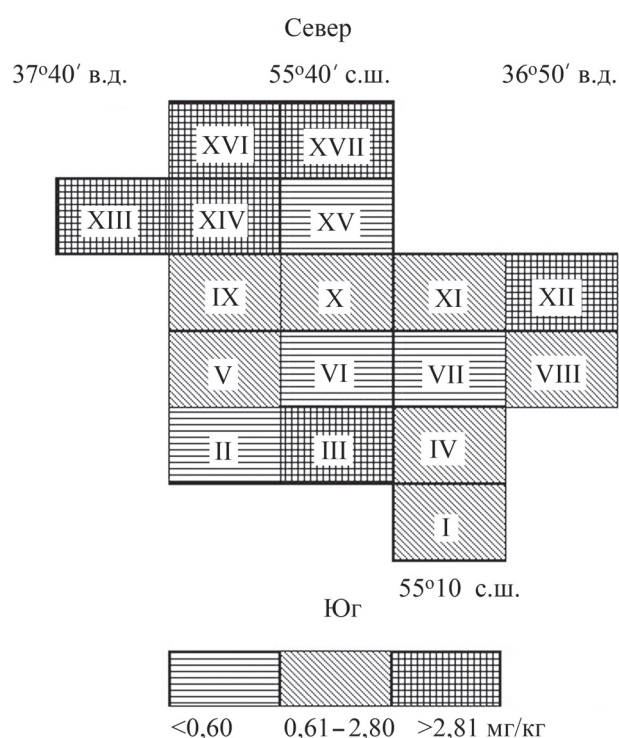


Схема пространственного распределения средних величин концентрации свинца в слоевищах лишайника *Xanthoria parietina* с участков (I–XVII) присоединенной в 2012 г. к Москве территории

206 мг/кг (Dogrul et al., 2012). Максимальная концентрация Pb (12045 мг/кг) была измерена в слоевищах *Cetraria (Cornicularia) muricata*, собранных на старых отвалах рудника полиметаллов в Западном Йоркшире (Великобритания) в 1960-е годы (Shimwell, Laurie, 1972). В публикациях (Инсарова, 1983; Соловьева и др., 2007; Noeske et al., 1970; Nieboer et al., 1978; Nash, 1989; Garty, 2001; Pawlik-Skowronska et al., 2008; Osyczka, Rola, 2013) также подчеркивается, что самые высокие концентрации Pb были измерены в слоевищах разных видов лишайников, собранных на отвалах рудников и шахт. Высока концентрация свинца и в городских лишайниках. Например, в 1970 г. этот показатель в слоевищах *Lecanora muralis*, собранных на расстоянии 5,3 км от центра города Лидс (Великобритания), составлял 3124 мг/кг (Seaward, 1973). С удалением от источника (предприятие, автостра-

да) концентрация свинца в слоевищах уменьшается. Так, на расстоянии 12 км от упоминавшегося металлургического завода в Люксембурге в слоевищах *X. parietina* средняя концентрация Pb была 7 мг/кг вместо 107 мг/кг на расстоянии 350 м от завода (Hissler et al., 2008). В Алжире в слоевищах того же вида этот показатель составлял 142 и 883 мг/кг соответственно в 5 и 100 м от автострады (Rahali, 2002). В городе Метц (Франция) на расстоянии 1,5 км от центра концентрация свинца в слоевищах *Hypogymnia physodes* в 2001 г. составляла 72 мг/кг, а в 6 и 11 км от центра соответственно 4 и 31 мг/кг (Cloquet et al., 2006).

В Москве, в районе «Аэропорт» на севере города, слоевища *X. parietina*, собранные нами в 2012 г. с деревьев Петровского парка и нескольких скверов, содержали 2,4 мг/кг Pb (материал не опубликован), а в слоевищах *Phaeophyscia orbicularis* (представители этого вида обитают примерно в тех же местообитаниях, что и *X. parietina*), собранных в 2007 г. с деревьев Тверского бульвара и сада «Эрмитаж», средняя концентрация Pb составляла 21,8 и 15,4 мг/кг соответственно (Бязров, Пельгунова, 2012а).

Представленные материалы свидетельствуют о том, что на присоединенной в 2012 г. к Москве территории уровень концентрации свинца в слоевищах *X. parietina* в целом близок к фоновому. Это позволяет полагать, что в 2012 г. качество воздушного бассейна здесь было относительно нормальным. Исключение составляют участки, примыкающие к прежней границе города (МКАД), где концентрации Pb повышенные в сравнении с остальной территорией. Однако следует учитывать, что материал для измерения собирали вне населенных пунктов и вдали от автострад, где ситуация может быть не столь благополучной. Мы надеемся, что при развитии новых территорий Москвы качество воздуха останется на приемлемом для людей уровне. А судить об этом можно будет после сравнения результатов будущих исследований с публикуемыми здесь данными.

Авторы благодарны Программе фундаментальных исследований президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» за финансирование исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л., 1985. 528 с.
- Бязров Л.Г. Лишайники как источник пищи // Биология. 2000. № 19. С. 14.
- Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М., 2002. 336 с.
- Бязров Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. М., 2005. 476 с.
- Бязров Л.Г. Эпифитные лишайники г. Москвы: современная динамика видовой разнообразия. М., 2009. 146 с.
- Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А. Динамика содержания элементов в слоевищах эпифитного лишайника *Huro-*

- gymnia 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. МОИП. 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. Т. 3. М., 2012б. С. 243.
- Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А. База данных о концентрации элементов в слоевищах лишайника *Xanthoria parietina* с присоединенной в 2012 г. к Москве территории как «точка отсчета» для долговременного мониторинга качества воздушной среды // Сайт ИПЭЭ РАН. 2013. URL: http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_Xanthoria_parietina.pdf; http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_Xanthoria_parietina.xls.
- Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
- Ерофеева И.А. Анализ содержания тяжелых металлов в эпифитных лишайниках в условиях городской среды // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 3. С. 20–23.
- Зайцева Н.В., Тырыкина Т.И., Землянова М.А., Уланова Т.С., Долгих О.В., Шур П.З., Суетина Г.Н., Воинова И.В. Влияние на здоровье населения выбросов свинца автотранспортом // Гигиена и санитария. 1999. № 3. С. 3–4.
- Инсарова И.Д. Влияние тяжелых металлов на лишайники // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1983. Т. 6. С. 101–113.
- Корнелюк Н.Н. Фитоиндикация загрязнения тяжелыми металлами городских экосистем // Проблемы природоохранной организации ландшафтов. Материалы международной научно-практической конференции посвященной 100-летию выпуска первого мелиоратора в России (24–25 апреля 2013 г.). Ч. 1. Новочеркасск, 2013. С. 276–278.
- 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., 2008. С. 534.
- Свинец в окружающей среде. М., 1987. 181 с.
- Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 4. С. 606–630.
- Соловьева М.И., Кудинова З.А., Кузьмина С.С. Содержание микроэлементов в слоевищах лишайников родов *Cladonia* и *Cetraria* в зависимости от места произрастания // Наука и образование. 2007. № 3. С. 118–122.
- Шевченко В.П., Покровский О.С., Стародымова Д.П., Васюкова Е.В., Лисицын А.П., Дровнина С.И., Замбер Н.С., Махнович Н.М., Саввичев А.С., Сонке Й. Геохимия эпигейных лишайников водосборного бассейна Белого моря // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450. № 1. С. 87–93.
- Шеицун И.В., Гильмиярова Ф.Н., Гергель Н.И., Самыкина Л.Н., Баишева Г.М., Сапрыкина А.Г., Рожкова О.В. Зависимость заболеваемости населения от специфических промышленных выбросов // Гигиена и санитария. 1999. № 3. С. 5–9.
- Achotegui–Castells A., Sardans J., Ribas A., Penuelas 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.
- Agnan Y., Sejalon–Delmas N., Probst A. Comparing Early Twentieth Century and Present–Day Atmospheric Pollution in SW France: A story of Lichens // Environmental Pollution. 2013. Vol. 172. P. 139–148.
- 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.
- Bargagli R., Mikhailova I. Accumulation of Inorganic Contaminants // In: Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (eds.): Monitoring with lichens – monitoring lichens. NATO Science Series. IV. Earth and Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 2002. P. 65–84.
- 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.
- Cloquet C., Carignan J., Libourel G. Atmospheric pollutant dispersion around an urban area using trace metal concentrations and Pb isotopic compositions in epiphytic lichens // Atmospheric Environment. 2006. Vol. 40. P. 574–587.
- Cuny D., van Haluwyn C.H., Pesch R. Biomonitoring of Trace Elements in Air and Soil Compartments Along the Major motorway in France // Water, Air and Soil Pollution. 2001. Vol. 125. P. 273–289.
- Demayo A., Taylor M.C., Taylor K.W., Peter V. Hodson P.V., Hammond P.B. Toxic Effects of Lead and Lead Compounds on Human Health, Aquatic Life, Wildlife Plants, and Livestock // CRC Critical Reviews in Environmental Control. 1982. Vol. 12. P. 257–305. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10643388209381698>
- Dogru Demiray A., Yolcubal I., Akyol N.H., Cobanoglu G. Biomonitoring of Airborne Metals Using the Lichen *Xanthoria parietina* in Kocaeli Province, Turkey // Ecological Indicators. 2012. Vol. 18. P. 632–643.
- Garty J. Biomonitoring atmospheric Heavy Metals with Lichens: Theory and Application // Critical Reviews in Plant Sciences. 2001. Vol. 20. P. 309–371.
- Garty J. Biomonitoring heavy metal pollution with lichens // In: Kranner I., Beckett R.P., Varma A.K. (eds.): Protocols in Lichenology. Culturing, Biochemistry, Ecophysiology and Use in Biomonitoring. Springer–Verlag, Berlin, Heidelberg. 2002. P. 458–482.
- Gourlaouen C., Parisel O. Is an Electronic Shield at the Molecular Origin of Lead Poisoning? A Computational Modeling Experiment // Angewandte Chemie Intern. Ed. 2007. Vol. 46. P. 553–556.
- Hissler C., Stille P., Krein A., Geagea M.L., Perrone T., Probst J.–L., Hoffmann L. Identifying the Origins Of Local Atmospheric Deposition in the Steel Industry Basin of Luxembourg using the Chemical and Isotopic Composition of the Lichen *Xanthoria parietina* // Science of the Total Environment. 2008. Vol. 405. P. 338–344.
- Kovarik W. Milestones: Leaded Gasoline. How a Classic Occupational Disease Became An International Public Health Disaster // Int. Journ. Occup. Environ. Health. 2005. Vol. 11. P. 384–397. URL: www.ijoh.com
- Mendil D., Celik F., Tuzen M., Soylak M. Assessment of Trace

- Metal Levels in Some Moss and Lichen Samples Collected from near the Motorway in Turkey // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 166. P. 1344–1350.
- Nash T.H. Metal tolerance in lichens // In: A. J. Shaw (ed.): *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. CRC Press, Inc., Boca Raton. 1989. P. 119–131.
- Nieboer E., Richardson D.H.S., Tomassini F.D. Mineral Uptake and Release by Lichens: an Overview // *Bryologist*. 1978. Vol. 81, N 2. P. 226–246.
- Noeske O., Lauchli A., Lange O.L., Vieweg G.H., Ziegler H. Konzentration und Lokalisierung von Schwermetallen in Flechten der Erzschlackenhalde des Harzes // *Vorträge aus dem Gesamtgebiet der Botanik, N.F.* [Deutsch. Bot. Ges.]. 1970. Bd. 4. S. 67–79.
- Nriagu J.O. A silent Epidemic of Environmental Metal Poisoning? // *Environmental Pollution*. 1988. Vol. 50. P. 139–161.
- Nriagu J.O. A Global Assessment of Natural Sources of Atmospheric Trace Metals // *Nature*. 1989. Vol. 338. P. 47–49.
- Nriagu J.O. Global Metal Pollution – Poisoning the Biosphere // *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 1990a. Vol. 32. N 7. P. 7–11, 28–33.
- Nriagu J.O. The Rise and Fall of Leaded Gasoline // *Science of the Total Environment*. 1990b. Vol. 92. P. 13–28.
- Nriagu J.O., Pacyna J.M. Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soils by Trace Metals // *Nature*. 1988. Vol. 333. P. 134–139.
- Osyyczka P., Rola K. *Cladonia* lichens as the Most Effective and Essential Pioneers in Strongly Contaminated Slag Dumps // *Central Europ. J. Biol.* 2013. Vol. 8. P. 876–887.
- Pawlik-Skowronska B., Wojciak H., Skowronski T. Heavy Metal Accumulation, Resistance and Physiological Status of some Epigeic and Epiphytic Lichens Inhabiting Zn and Pb Polluted Areas // *Polish Journal of Ecology*. 2008. Vol. 56. P. 195–207.
- Rahali M. Cartographie de la Pollution Plombique Dans la Région d'Alger en Utilisant un Lichen (*Xanthoria parietina*) Comme Bioaccumulateur // *Pollution Atmosphérique*. 2002. N 175. P. 421–432.
- Seaward M. R. D. Lichen Ecology of the Scunthorpe Heathlands. 1. Mineral Accumulation // *Lichenologist*. 1973. Vol. 5. P. 423–433
- Shimwell D. W., Laurie A. E. Lead and Zinc Contamination of Vegetation in the Southern Pennines // *Environmental Pollution*. 1972. Vol. 3. P. 291–301.
- Smith P.P., Nriagu J.O. Lead Poisoning and Asthma Among low-income and African American Children in Saginaw, Michigan // *Environmental Research*. 2011. Vol. 111. P. 81–86.

Поступила в редакцию 08.04.14

CONCENTRATIONS OF LEAD (Pb) IN THALLI OF LICHEN *XANTHORIA PARIETINA* FROM DIFFERENT PLOTS OF AREA INTEGRATED TO MOSCOW CITY TERRITORY IN 2012

L.G. Biazrov, L.A. Pelgunova

Data about concentrations of lead in thalli of epiphytic lichen *Xanthoria parietina*, sampled in 2012 in joined part of the Moscow region to Moscow city in the same year are presented. This territory was divided into 17 sections, on each of which outside of settlements and far from motor roads have sampled on 10 lichen specimens from trunks of deciduous trees. The range of mean concentration Pb vary between sections from 0,28 up to 8,30, at mean value of 2,42 mg/kg for all 170 specimens. We are determined the factors of enrichment Pb normalized to Ti. Their values in sections are from 1 up to 85,5 at mean value 19,3 for all 17 sections. The ranking of understudy area on parameters of metal mean concentration in the thalli was carried out. Increased concentrations of Pb are allocated in northern sections adjoining from the south to former territory of city. These results are offered as “baseline” for future monitoring of air quality in the territory under study.

Key words: lichens, *Xanthoria parietina*, lead, poisoning, concentration, air quality, monitoring, baseline, Moscow city.

Сведения об авторах: Бязров Лев Георгиевич – вед. науч. сотр. Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, канд. биол. наук (lev.biazrov@rambler.ru); Пельгунова Любовь Андреевна – науч. сотр. Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (platon@sevin.ru).