



УДК УДК 528.29:502.53:581.5

**Оценка соотношения некоторых элементов и их  
распределения на поверхности слоевища  
лихенизированного гриба *Xanthoria parietina* (L.)  
Th. Fr. не разрушающим образец  
микрорентгенофлуоресцентным спектрометром  
( $\mu$ -РФС) M4 Tornado**

**БЯЗРОВ**  
Лев Георгиевич

Институт проблем экологии и эволюции РАН,  
[lev.biazrov@rambler.ru](mailto:lev.biazrov@rambler.ru)

**ПЕЛЬГУНОВА**  
Любовь Андреевна

Институт проблем экологии и эволюции,  
[platon@sevin.ru](mailto:platon@sevin.ru)

**Ключевые слова:**  
биомониторинг  
лишайники  
*Xanthoria parietina*  
состав элементов  
 $\mu$ -РФС  
распределение элементов  
поверхность слоевища  
периферия слоевища  
центральная часть слоевища

**Аннотация:**  
Сравнили состав атомов 19 элементов - Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb - краевой (молодой) и центральной (старшей) частей верхней поверхности слоевища эпифитного лишайника *Xanthoria parietina* - вида, часто используемого в биомониторинге качества воздушной среды. Измерение соотношения атомов элементов проведено неразрушающим образец микрорентгенофлуоресцентным спектрометром ( $\mu$ -РФС). Установлено, что доли (%) атомов элементов на верхней поверхности лишайника очень вариабельны. Значения (%) атомов Fe, Co, Zn и Pb были статистически значимо выше в центральной её части, тогда как у P, S, Cl, K, Ca и Mn доли атомов были выше в периферийной части. Различия между другими элементами статистически недостоверны. Показаны результаты картирования распределения некоторых элементов на части поверхности слоевища.

© 2013 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Т. Н. Отнюкова

Получена: 28 октября 2013 года

Опубликована: 22 января 2014 года

**Введение**

Особенности биологии и физиологии лишайников как пойкилогидридных организмов, не имеющих приспособлений, препятствующих проникновению в их тела различных загрязнителей, медленный и длительный рост слоевищ, невыразительность реакций на сезонные явления, географически обширные ареалы многих видов позволяют успешно использовать их как биомониторы загрязнения среды не только газами, но и такими загрязнителями, как токсичные металлы и неметаллы, радионуклиды, органические соединения, поскольку динамика химического состава слоевищ в пространстве и во времени связана с изменением свойств среды их обитания (Бязров, 2002, 2005; Пельгунова, Бязров, 2008; Бязров, Пельгунова, 2010, 2012а, б). Число публикаций с результатами измерения элементов в слоевищах лишайников велико, однако информация об элементах непосредственно на поверхности

слоевищ лишайников скучная (Williamson et al., 2004; Purvis et al., 2013), хотя именно поверхность слоевища является акцептором жидких и сухих осадков, компоненты которых далее попадают внутрь тела лишайника. Появление приборов, позволяющих проводить измерение состава химических элементов, не разрушая образцы, даёт возможность определить соотношение состава ряда элементов на поверхности слоевища лишайника. Кроме того, сохранение целостности измеряемого образца позволяет использовать для целей мониторинга материал из научных коллекций, поскольку образцы при измерении не повреждаются. Было показано, что результаты не разрушающего образец измерения состава элементов в слоевищах лишайников сопоставимы с результатами, полученным на приборах, для измерения на которых необходимо разрушение образца измельчением, прессованием, растворением (Bontempi et al., 2008). Целью нашего исследования было выявление возможных количественных различий между химическими элементами на поверхности слоевища краевой (более молодой) и центральной (старшей) частей слоевища лишайника, чтобы установить критерии отбора проб лишайников для мониторинга токсичных элементов в городской среде.

## Материалы

Состав элементов измеряли на поверхности листоватого слоевища лихенизированного гриба *Xanthoria parietina* (L.) Th.Fr. (рис. 1), собранного в сентябре 2013 г. в г. Москве со ствола рябины в сквере у станции метро «Каширская», чётная сторона проспекта Андропова. Представители этого нитрофитного вида широко распространены на нашей планете (вид представлен на всех континентах, кроме Антарктиды), встречаются преимущественно на коре деревьев и древесине, но растут и на каменистом субстрате, естественном и искусственном. В Москве *X. parietina* присутствует на деревьях во всех районах города (Бязров, 2009, 2013). Этот лишайник нередко используют в индикационных исследованиях (Brown, 1973; Augusto et al., 2009; Achotegui-Castells et al., 2013).



Рис. 1. *Xanthoria parietina* на стволе рябины в городском сквере

Fig. 1. *Xanthoria parietina* on trunk of field-ash in municipal square

Размеры изученного слоевища *X. parietina* 45x50 мм. Перед измерением состава элементов с его поверхности мягкой кисточкой и феном удаляли песок, пыль и другие твёрдые частицы, осевшие на поверхность лишайника. Очищенное не обмытое водой слоевище вместе с субстратом закреплялось на предметном столике в вакуумной камере (2 мбар) микро-рентгенофлюоресцентного спектрометра  $\mu$ -XRF M4 Tornado M4 (Bruker AXS, Германия). Микро-рентгенофлюоресцентный анализ элементов на этом приборе основан на взаимодействии элементов, содержащихся в образце, с высокогенеративным

Бязров Л. Г., Пельгунова Л. А. Оценка соотношения некоторых элементов и их распределения на поверхности слоевища лихенизированного гриба *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. не разрушающим образец микрорентгенофлюoresцентным спектрометром ( $\mu$ -РФС) M4 Tornado // Принципы экологии. 2013. № 3. С. 37-52.

рентгеновским излучением, которое приводит к испусканию образцом вторичного рентгеновского излучения (рентгеновская флюресценция). Источник рентгеновского излучения (Rh) работал при 50 кВ, 200 мА. Этот прибор позволяет проводить неразрушающий анализ образца, поскольку пучок рентгеновского излучения направляется в намеченную точку поверхности, и состав элементов определяется для пятна размером 20 мм.

Встроенный в прибор компьютер выдаёт результат измерения в выбранной точке в виде спектра (рис. 2), который преобразуется в таблицу соотношений (%) атомов элементов.

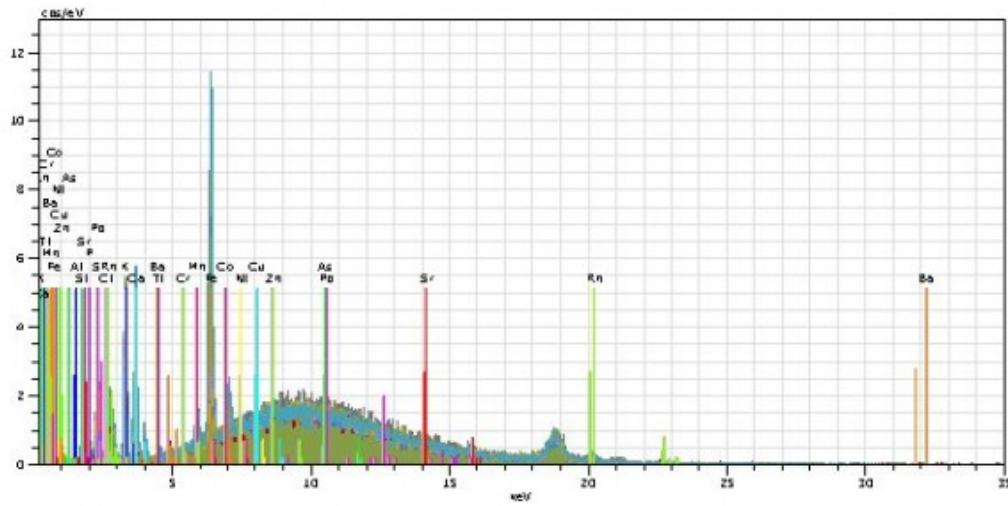


Рис. 2. Спектр элементов одной из точек краевой части поверхности слоевища *X. parietina*

Fig. 2. Spectrum of the elements in one of the patches in the peripheral part of the surface of *X. parietina* thallus

В краевой части слоевища (5–8 мм от края, возраст около 3-х лет) измерение состава элементов проведено в 11 точках поверхности (рис. 3), а в центральной части (возраст 11–12 лет) – в шести (рис. 4).

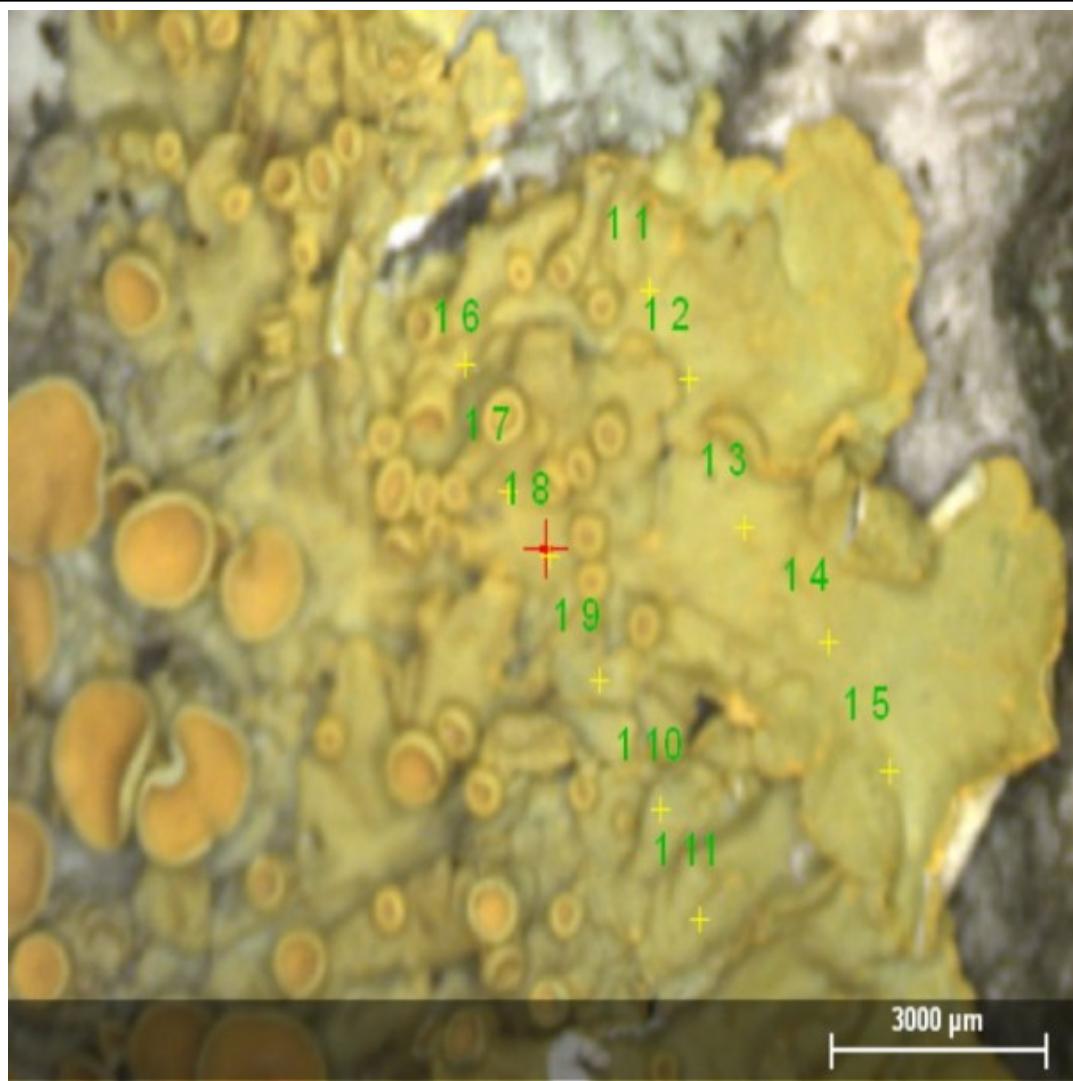


Рис. 3. Расположение точек для измерения состава элементов в краевой части слоевища *X. parietina*

Fig. 3. Position of patches in the periphery of the surface of *X. parietina* thallus used for the measurement of the element content

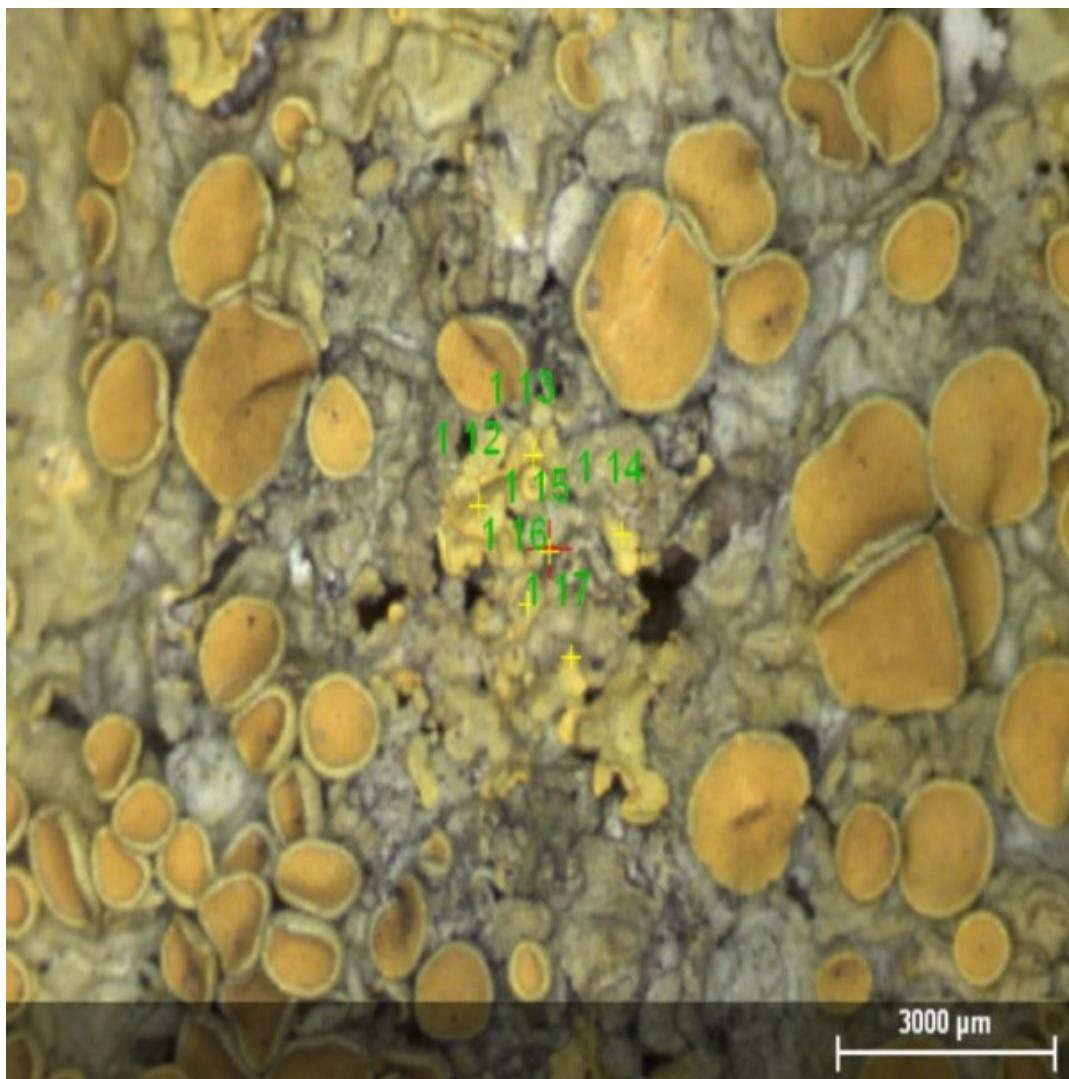


Рис. 4. Расположение точек для измерения состава элементов в центральной части слоевища *X. parietina*

Fig. 4. Position of patches in the central part of the surface of *X. parietina* thallus used for the measurement of element content

Помимо измерения состава и доли (%) атомов элементов в нескольких точках краевой и центральной частей верхней поверхности слоевища, также зафиксировали распределение некоторых элементов на поверхности слоевища путём сканирования его части.

Статистическую обработку полученных прибором величин доли масс элементов проводили с использованием соответствующего приложения программы Microsoft Office Excel 2003. Коэффициенты корреляции определяли между % атомов всех элементов в 11 точках периферийной части слоевища и отдельно в 6 точках центральной его части. Соответственно, таблицы включали 19 столбцов (элементы) и 11 строк (точки измерения) в первом случае и 19 столбцов (элементы) и 6 строк (точки измерения) – во втором. Таблицы для определения коэффициентов корреляции между конкретными величинами % атомов одно и того же элемента включали по 2 столбца (элемент периферийной и центральной частей) и строки с 11 и 6 значениями соответственно.

## Результаты

Сведения о весовой доле атомов 19 элементов, обнаруженных на поверхности слоевища *X. parietina*, представлены в таблице 1. На рис. 5-10 показано распределение ряда элементов на слоевище этого лишайника, выявленное сканированием части его поверхности.

Согласно принятой классификации ингредиентов выбросов вредных веществ (Общероссийский классификатор...), из выявленных элементов к классу опасности 1 принадлежат Cr, Co, Pb, Элементы Cl,

Cu, Mn, Ni, Zn, As относятся к классу опасности 2, а соединения Fe – 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). 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.

В краевой и центральной частях поверхности слоевища лишайника, как и в целом на всей его поверхности, наибольшую долю составляют атомы трёх элементов (K > Ca > Fe), доля которых около 10 % и более (табл. 1). Вклад атомов Si и S более 5 %, а Al, P и Cl – 2-3 %. Средняя доля каждого из большинства других элементов на поверхности слоевища *X. parietina* менее 1 %, хотя показатели атомов ряда элементов (Mn, Zn, Sr, Pb) превышают это значение (табл. 1).

Показатели атомных процентов элементов чрезвычайно вариабельны – значения коэффициентов вариации для целого слоевища находятся в пределах от 29 до 81 %, для краевой части – 16-84 %, центральной – 17-73 % (табл. 1).

Таблица 1. Средняя доля (M, %) атомов элемента, стандартная ошибка ( $\pm m$ ), минимальные – максимальные показатели (Мин.-макс.), коэффициент вариации (KB, %) на поверхности краевой части слоевища *X. parietina*(А), центральной части (Б) и всего слоевища (В); n – число точек для измеренных на поверхности слоевища

Элемент	А (n=11)			Б (n=6)			В (n=17)		
	M $\pm m$	Мин.- макс.	KB. (%)	M $\pm m$	Мин.-ма кс.	KB. (%)	M $\pm m$	Мин.-ма кс.	KB. (%)
Al	2.17 $\pm 0.44$	0.00-4.2 7	67	3.07 $\pm 0.88$	0.23-6.2 5	70	2.49 $\pm 0.42$	0.00-6.2 5	69
Si	7.2 $\pm 1.26$	1.89-14. 18	53	9.21 $\pm 1.94$	3.65-15. 37	52	8.31 $\pm 1.04$	1.89-15. 37	52
P	2.94 $\pm 0.23$	2.14-4.8 9	26	1.92 $\pm 0.49$	0.57-3.9 5	63	2.58 $\pm 0.25$	0.57-4.8 9	40
S	8.90 $\pm 1.06$	5.06-14. 65	39	5.34 $\pm 1.11$	1.93-7.7 5	51	7.64 $\pm 0.88$	1.93-14. 65	47
Cl	3.77 $\pm 0.41$	1.41-6.0 6	36	1.83 $\pm 0.47$	0.62-3.2 8	62	3.08 $\pm 0.38$	0.62-6.0 6	51
K	28.40 $\pm 2.26$	15.69-3 6.88	26	20.07 $\pm 3.83$	9.10-35. 11	47	25.46 $\pm 2.16$	9.10-36. 88	35
Ca	28.57 $\pm 1.96$	19.93-4 0.48	23	10.95 $\pm 1.02$	6.15-12. 86	23	22.35 $\pm 2.47$	6.15-40. 48	46
Ti	0.88 $\pm 0.13$	0.00-1.3 4	50	1.38 $\pm 0.10$	0.98-1.7 4	17	1.05 $\pm 0.11$	0.00-1.7 4	43
Cr	0.11 $\pm 0.03$	0.00-0.2 6	82	0.15 $\pm 0.02$	0.06-0.2 0	33	0.13 $\pm 0.02$	0.00-0.2 6	62
Mn	1.85 $\pm 0.13$	1.47-2.8 3	23	1.35 $\pm 0.19$	0.93-2.2 0	35	1.68 $\pm 0.12$	0.93-2.8 3	29
Fe	9.14 $\pm 1.33$	3.25-15. 43	48	36.92 $\pm 4.39$	25.13-5 0.77	29	18.95 $\pm 3.72$	3.25-50. 77	81
Co	0.24 $\pm 0.05$	0.00-0.4 5	63	0.61 $\pm 0.09$	0.41-0.9 5	38	0.37 $\pm 0.06$	0.00-0.9 5	68
Ni	0.26 $\pm 0.04$	0.13-0.5 7	46	0.17 $\pm 0.04$	0.03-0.2 7	53	0.23 $\pm 0.03$	0.03-0.5 7	52
Cu	0.62 $\pm 0.04$	0.40-0.8 7	24	0.71 $\pm 0.11$	0.29-1.0 4	38	0.65 $\pm 0.05$	0.29-1.0 4	29
Zn	1.16 $\pm 0.05$	0.89-1.3 7	16	1.97 $\pm 0.38$	1.09-3.3 3	41	1.44 $\pm 0.15$	0.89-3.3 3	43
As	0.55 $\pm 0.07$	0.27-0.9 7	42	0.62 $\pm 0.18$	0.17-1.2 9	73	0.57 $\pm 0.08$	0.17-1.2 9	54
Sr	1.35 $\pm 0.08$	1.08-1.9 2	19	1.93 $\pm 0.51$	0.90-4.2 0	64	1.55 $\pm 0.19$	0.90-4.2 0	50
Ba	0.38 $\pm 0.10$	0.00-0.7 9	84	0.34 $\pm 0.06$	0.08-0.5 0	44	0.36 $\pm 0.06$	0.00-0.7 9	72
Pb	0.89 $\pm 0.13$	0.25-1.6 9	48	1.47 $\pm 0.33$	0.74-2.9 9	55	1.09 $\pm 0.15$	0.25-2.9 9	58

Количественные показатели различий между краевой и центральной частями слоевища статистически значимы (критерий t, p ≤ 0.05) для атомов 10 элементов, при этом доля атомов P, S, Cl, K,

Ca, Mn больше в периферийной части слоевища, а Fe, Co, Zn, Pb – в центральной (табл. 1). Для остальных элементов (Al, Si, Ti, Cr, Ni, Zn, As, Sr, Ba) различия количественных показателей между периферийной и центральной частями слоевища были статистически не достоверными ( $p \leq 0,05$ ). При этом для большинства из них, за исключением Ni и Ba, можно отметить более высокие величины в центральной части в сравнении с краевой. Особенно показательны максимальные величины (табл. 1).

Полученные нами результаты трудно сравнивать с данными других исследователей, поскольку, в отличие от большинства работ, мы измеряли элементы только на поверхности слоевища. Доступные нам данные об элементах на поверхности слоевищ, с одной стороны, относятся к представителям другого вида (*Hypogymnia physodes*), причём трансплантированных на сроки 2 и 3 месяца в зону действия медеплавильного завода, с другой – исследованные поверхности слоевищ не делили на периферийную и центральную части (Williamson et al., 2004; Purvis et al., 2013). Отметим, что различия концентраций элементов между периферийной и центральной частями слоевищ лишайников целиком были установлены несколько десятилетий назад. Так, J. oSchutte (1977) нашла, что у лишайника *Flavoparmelia (Parmelia) caperata*, диаметр слоевища которого был 8 см, концентрация Cr в центральной части слоевища более чем в 2 раза превышала этот показатель в периферийной части. Аналогичные данные установлены относительно концентрации Pb в слоевищах листоватых лишайников (Hale, Lawrey, 1985; Bargagli et al., 1987; Schwartzman et al., 1987). Наши данные также показывают более высокую долю атомов свинца в центральной части поверхности слоевища *X. parietina* в сравнении с краевой. Измерение концентраций элементов в разных частях слоевищ *Flavoparmelia (Parmelia) caperata*, собранных в Тоскане (Италия), как и в нашем исследовании, свидетельствует, что концентрации некоторых элементов (Co, Cu, Mo, Zn) статистически значимо выше в периферийной части слоевища, тогда как концентрации таких элементов, как Al, Cd, Pb выше в центральной части (Loppi et al., 1997). Работа, обобщившая данные о концентрации 16 элементов в периферийной и центральной частях лишайников *Flavoparmelia (Parmelia) caperata* и *Xanthoria parietina* из многих пунктов Италии, свидетельствует, что в большинстве случаев концентрации элементов выше в центральных частях этих листоватых лишайников. Но в некоторых местах сбора образцов содержание отдельных элементов выше в периферийных частях (Nimis et al., 2001).

Корреляции между величинами атомных процентов одного и того же элемента в периферийной и центральной частях слоевища *X. parietina* у нас статистически значимы всего для нескольких элементов, причём для S, Cr, Mn величины коэффициентов положительные, а для Si, Ca, Co, As, Ba они отрицательные. Очень различны корреляционные связи между элементами в периферийной и центральной частях поверхности *X. parietina*. В первой наибольшее число статистически значимых положительных связей имеет Ca (с Al, Si, Cr, Mn, Ni, Pb), а отрицательных – Al (с S, K, Co, Zn, As). В центральной части по значимым положительным связям выделяется Cu (с Cr, Mn, Fe, Co, Zn, As, Sr, Ba, Pb), а по отрицательным – Cl (с Ti, Fe, Co, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb). Поскольку измерения доли атомов проводили только на верхней поверхности слоевища, мы пока не можем по найденным корреляциям делать однозначные заключения о степени мобильности тех или иных элементов.

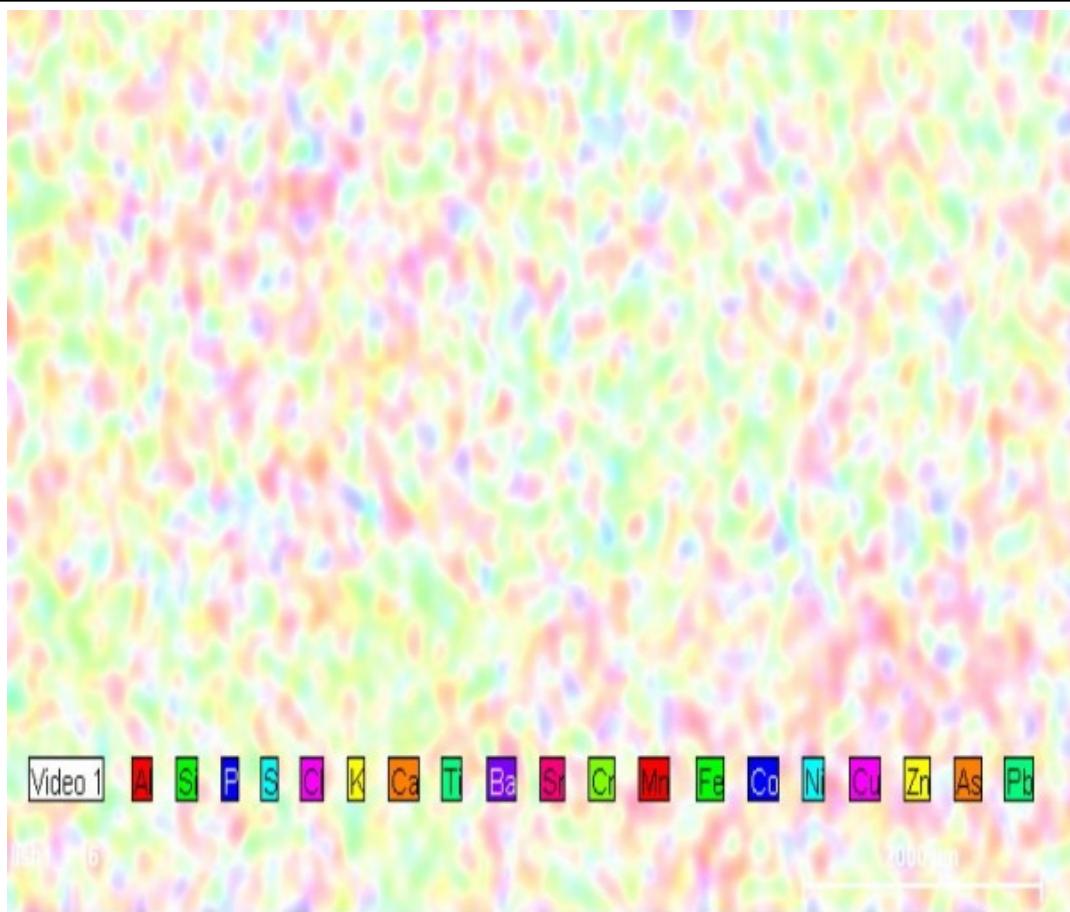


Рис. 5. Распределение 19 элементов на участке поверхности слоевища *X. parietina*, выявленное сканированием его поверхности

Fig. 5. Allocation of 19 elements on the section of *X. parietina* thallus, revealed by scanning its surface

Проведённое сканирование распределения элементов на части верхней поверхности слоевища *X. parietina* выявило как все 19 элементов (рис. 5), показанных в табл. 1, так и особенности распределения по поверхности слоевища (рис. 6-10). Так, Al представлен на поверхности лишайника в виде как отдельных частиц элемента, так и их скоплений (рис. 6).

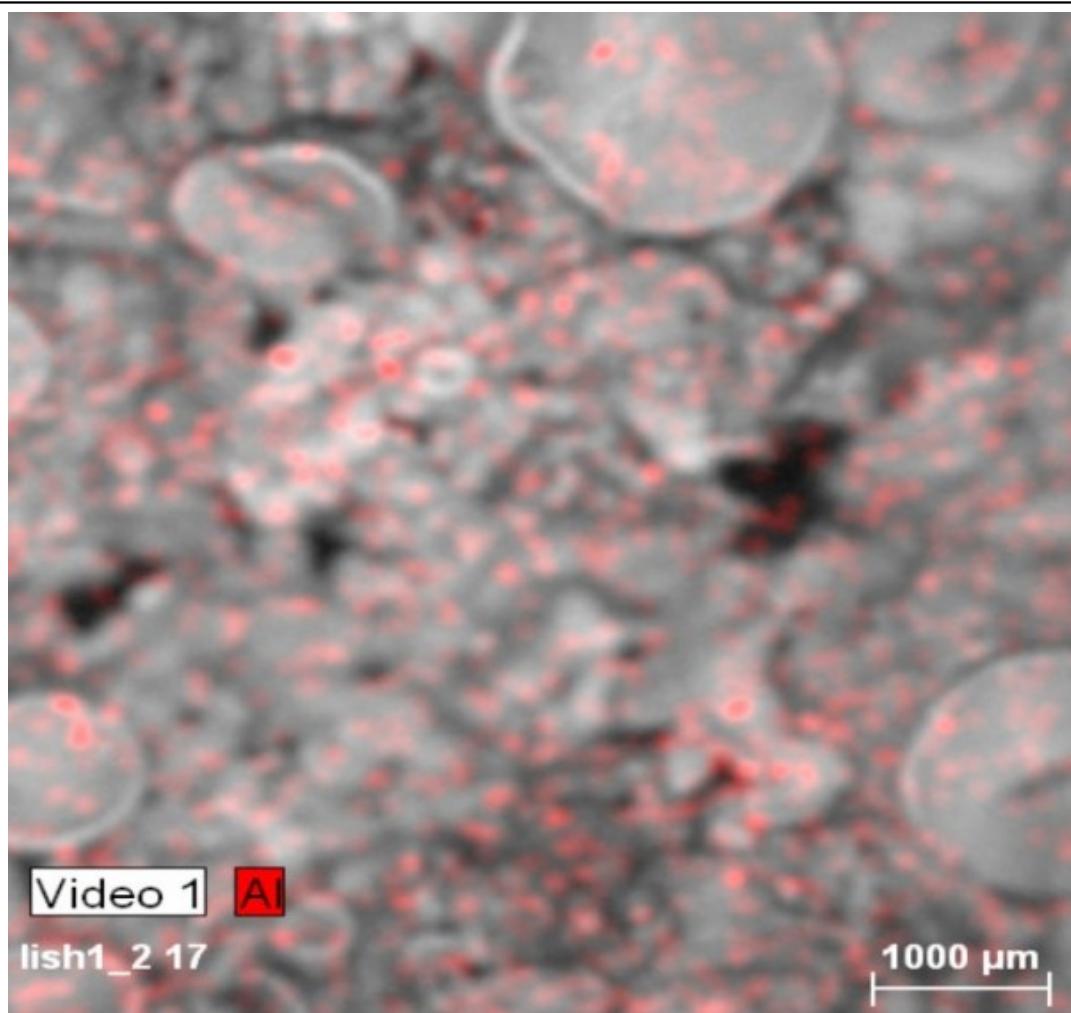


Рис. 6. Распределение атомов алюминия (Al) на участке поверхности слоевища *X. parietina*  
Fig. 6. Allocation of Al on the section of *X. parietina* thallus revealed by scanning its surface  
Железо (Fe) и свинец (Pb) образуют на поверхности большие пятна, насыщенность цвета которых  
возрастает с увеличением количества элемента (рис. 7 и 10). Сложную мозаику представляет  
распределение марганца (Mn)

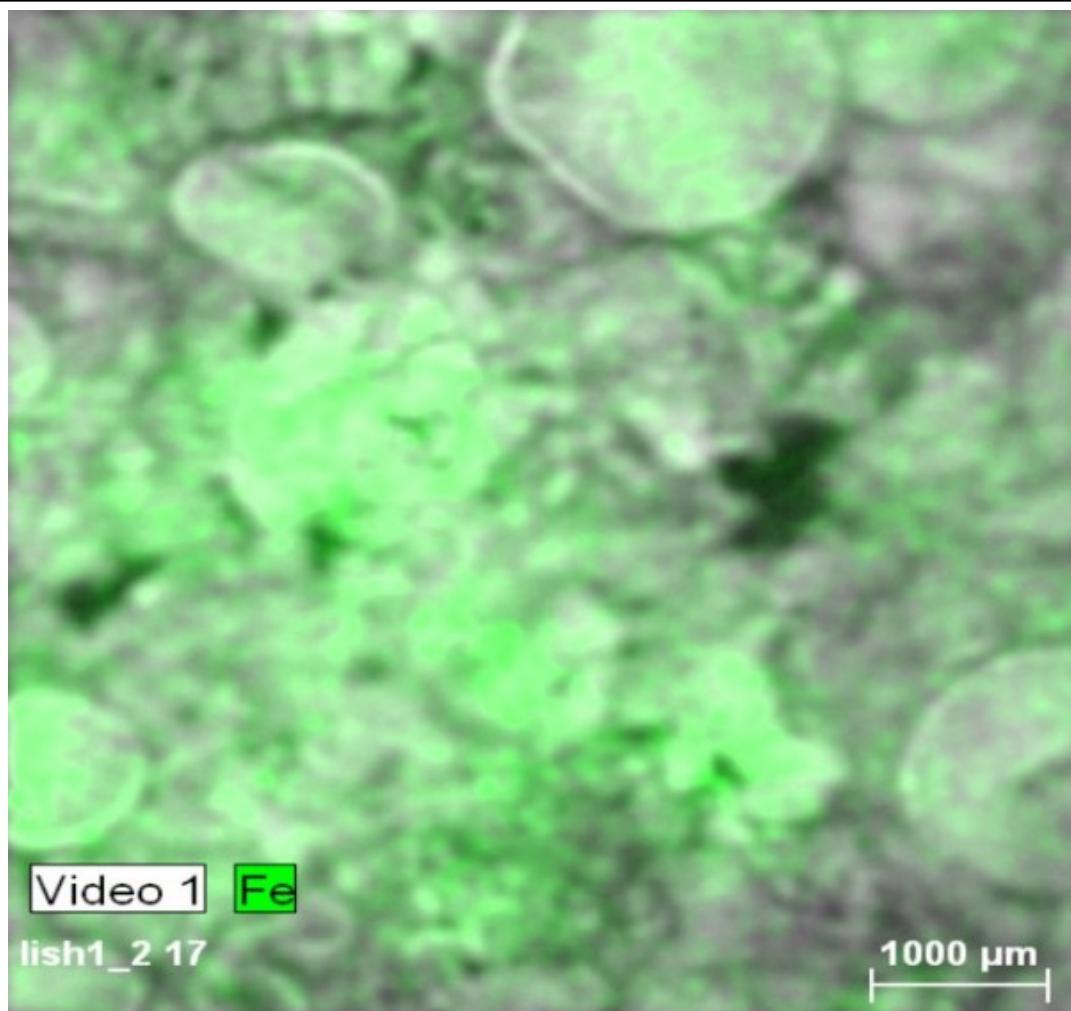


Рис. 7. Распределение атомов железа (Fe) на участке поверхности слоевища *X. parietina*  
Fig. 7. Allocation of Fe on the section of *X. parietina* thallus revealed by scanning its surface

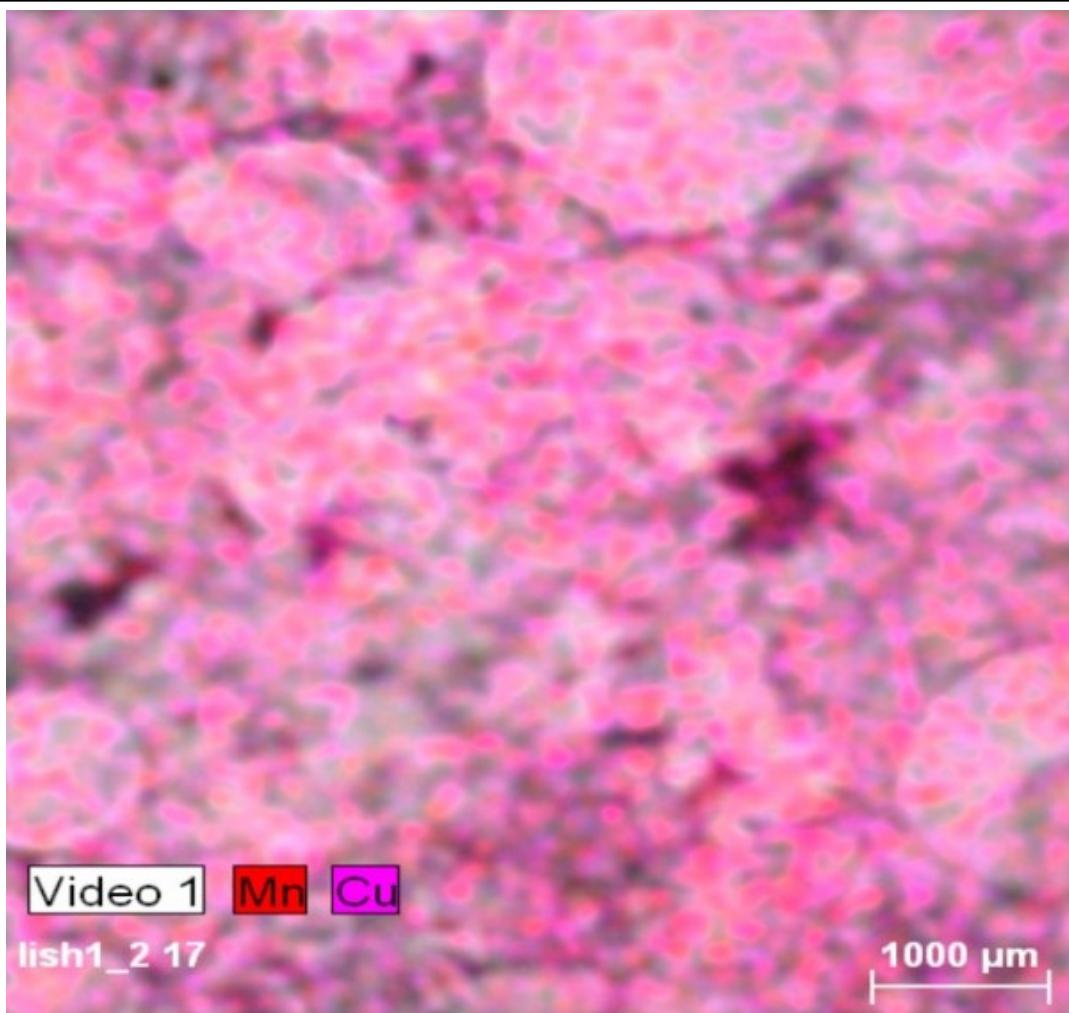


Рис. 8. Распределение атомов марганца (Mn) и меди (Cu) на участке поверхности слоевища *X. parietina*

Fig. 8. Allocation of Mn and Cu on the section of *X. parietina* thallus revealed by scanning its surface and меди (Cu) (рис. 8), кобальта (Co) и никеля (Ni) (рис. 9). Визуально наблюдается соответствие величин коэффициентов вариации элементов картине их распределения по поверхности слоевища, выявленная сканированием его участка – чем больше величина коэффициента, тем разреженнее и бледнее на рисунках пятна и цвет, соответствующие элементу.

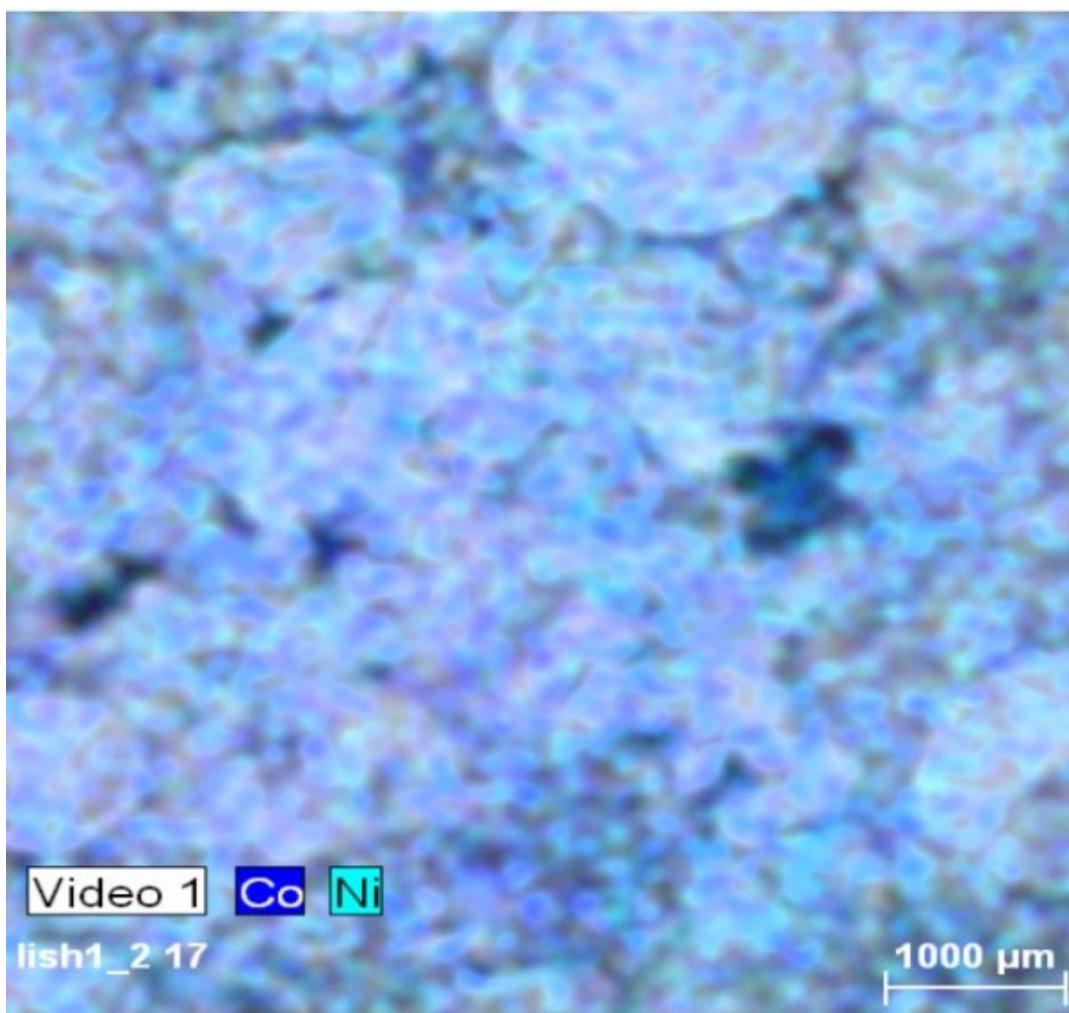


Рис. 9. Распределение атомов кобальта (Co) и никеля (Ni) на участке поверхности слоевища *X. parietina*

Fig. 9. Allocation of Co and Ni on the section of *X. parietina* thallus revealed by scanning its surface

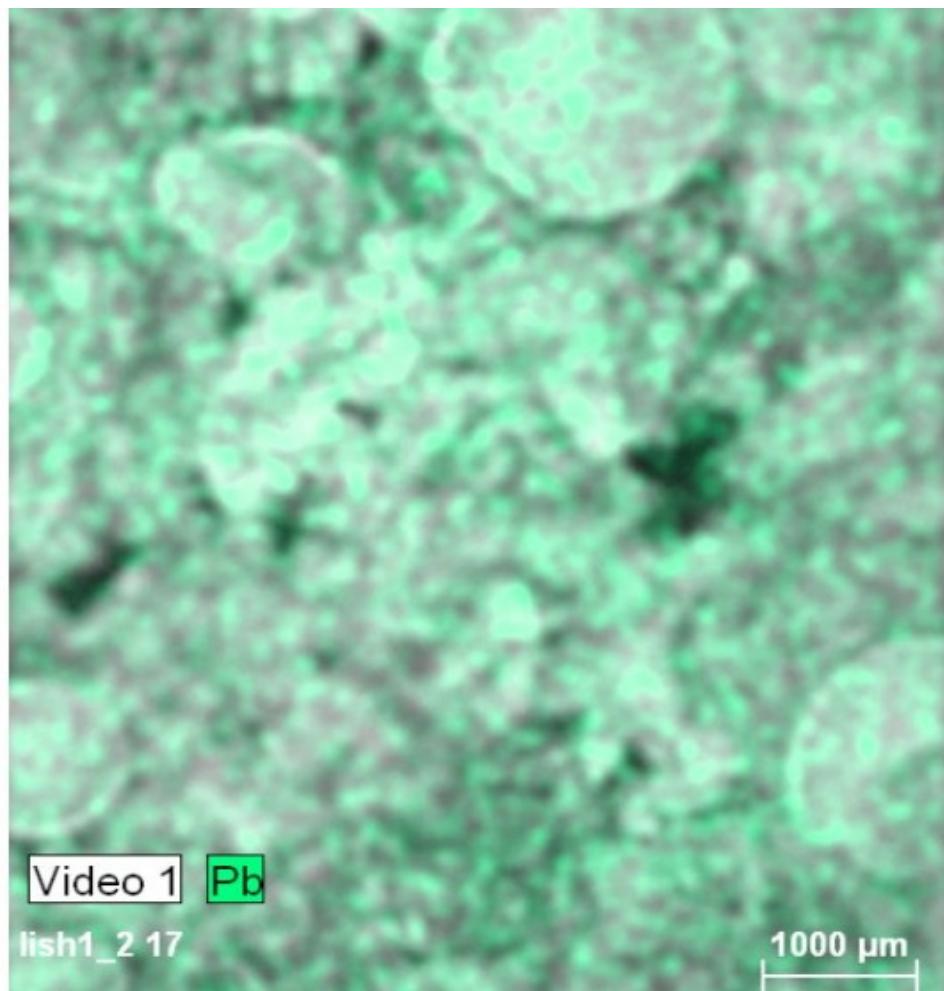


Рис. 10. Распределение атомов свинца (Pb) на участке поверхности слоевища *X. parietina*  
Fig. 10. Allocation of Pb on the section of *X. parietina* thallus revealed by scanning its surface

### Заключение

Результаты исследования свидетельствуют, что не разрушающая образец микрорентгеновская флуоресцентная спектроскопия позволяет получать количественные и качественные сведения о составе элементов и их распределении на поверхности слоевища лишайника. Представленные данные в целом соответствуют характеру распределения элементов в слоевищах других видов лишайников, установленному рядом исследователей, использовавших инструментарий, требующий разрушения образца при его подготовке для измерения. Использование микрорентгенофлуоресцентного спектрометра упростило пробоподготовку и значительно снизило затраты времени на измерение. Исследованный образец *X. parietina* остался неповреждённым, и он может быть использован для выяснения других особенностей распределения элементов в слоевище, в том числе и в его внутренних частях. Результаты нашего исследования также подтверждают высказанные ранее рекомендации (Бязров, 2002, 2005; Бязров, Пельгунова, 2012а), что при использовании лишайников в сравнительных исследованиях как акцепторов элементов и соединений для измерения необходимо отбирать слоевища одного возраста, поскольку наблюдаются количественные различия между элементами периферийных (молодых) и центральных (старших) частей слоевищ листоватых лишайников.

### Библиография

Бязров Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге. [Lichens in ecological monitoring] М.: Научный мир. 2002. 336 с.

Бязров Л. Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. [Lichens as indicators of radioactive contamination] М.: КМК. 2005. 476 с.

Бязров Л. Г., Пельгунова Л. А. Оценка соотношения некоторых элементов и их распределения на поверхности слоевища лихенизированного гриба *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. не разрушающим образец микрорентгенофлуоресцентным спектрометром ( $\mu$ -РФС) M4 Tornado // Принципы экологии. 2013. № 3. С. 37–52.

Бязров Л. Г. Эпифитные лишайники г. Москвы: современная динамика видового разнообразия. [Epiphytic lichens of Moscow city: recent changes of species diversity] М.: КМК. 2009. 146 с.

Бязров Л. Г. Динамика видового разнообразия эпифитных лихенизированных грибов Южного округа Москвы [Dynamics of species diversity of epiphytic lichenized fungi in the southern district of Moscow city] // Принципы экологии. 2013. Т. 2, № 1. С. 32–48. URL: <http://ecopri.ru>

Бязров Л. Г., Пельгунова Л. А. Динамика содержания элементов в слоевищах эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* из Подмосковья [Dynamics of the elements content in thalli of epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* from Moscow suburb] // 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 [Spatial-temporal trends of some elements concentration in thalli of epiphytic lichens from near of Moscow site and some districts of Moscow city] // 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 [The gradient analysis of the arsenic (As) content in thalli of epiphytic lichen for an estimation of influence of a metallurgic factory on environment] // Современная микология в России. Том 3. М.: Национальная академия микологии. 2012б. С. 243.

Общероссийский классификатор ингредиентов выбросов вредных веществ [Russian classificatory of ingredients of unsalutary substances emissions] // 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 [First data about the elements concentration in thalli of epiphytic lichen on trees in the centre of Moscow city] // Современная микология в России. Т. 2. М.: Национальная академия микологии. 2008. С. 534.

Эмсли Д. Элементы [The elements] / Пер. с англ. 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. V. 185. P. 615–629.

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

Bargagli R., Iosco F. P., D'Amato M. L. Zonation of trace metal accumulation in three species of epiphytic lichens belonging to the genus *Parmelia* // Cryptogamie, Bryologie, Lichenologie. 1987. V. 8. P. 331–337.

Bontempi E., Bertuzzi R., Ferretti E., Zucca M., Apostoli P., Tenini S., Depero L.E. Micro X-ray fluorescence as a potential technique to monitor in-situ air pollution // Microchim Acta. 2008. V. 161. P. 301–305.

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

Hale M. E., Lawrey J. Annual rate of lead accumulation in the lichen *Pseudoparmelia baltimorensis* // Bryologist. 1985. V. 88. P. 5–7.

Loppi S., Nelli L., Ancora S., Bargagli R. Accumulation of trace elements in the peripheral and central parts of a foliose lichen thallus // Bryologist. 1997. V. 100. P. 251–253.

Бязров Л. Г. , Пельгунова Л. А. Оценка соотношения некоторых элементов и их распределения на поверхности слоевища лихенизированного гриба Xanthoria parietina (L.) Th. Fr. не разрушающим образец микрорентгенофлуоресцентным спектрометром (μ-РФС) M4 Tornado // Принципы экологии. 2013. № 3. С. 37-52.

Nimis P.L., Andreussi S., Pittao E. The performance of two lichen species as bioaccumulators of trace metals // The Science of the Total Environment. 2001. V. 275. P. 43-51.

Purvis O.W., Williamson B.J., Spiro B., Udachin V., Mikhailova I.N., Dolgopolova A. Lichen monitoring as a potential tool in environmental forensics: case study of the Cu smelter and former mining town of Karabash, Russia// In: Pirrie D., Ruffell A., Dawson L. A. (eds.) Environmental and Criminal Geoforensics. Geological Society, London. 2013. Special Publications № 384. <http://dx.doi.org/10.1144/SP384.6>.

Schutte J.A. Chromium in two corticolous lichens from Ohio and West Virginia // Bryologist. 1977. V. 80. P. 279-283.

Schwartzman D. M., Kasim L., Johnson S. & J. H. Quantitative monitoring of airborne lead pollution by a foliose lichen // Water, Air, & Soil Pollution. 1987. V. 32. P. 363-378.

Williamson B. J., Mikhailova I., Purvis O. W., Udachin V. 2004. SEM-EDX analysis in the source apportionment of particulate matter on *Hypogymnia physodes* lichen transplants around the Cu smelter and former mining town of Karabash, South Urals, Russia // The Science of the Total Environment. 2004. V. 322. P. 139-154.

## **Благодарности**

Работа выполнена по плану НИР Лаборатории экологического мониторинга в регионах АЭС и биоиндикации Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН и частично финансировалась программой фундаментальных исследований президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития».

# **Estimation of the proportion of some elements and their distribution on a surface of thallus of lichenized fungus *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. using sample-nondestructive $\mu$ -XRF spectrometer M4 Tornado**

**BIAZROV**  
Lev

*Institute of ecology & evolution RAS,*  
*lev.biazrov@rambler.ru*

**PELGUNOVA**  
Lyubov

*Institute of ecology & evolution, platon@sevin.ru*

**Keywords:**

Biomonitoring  
lichens  
*Xanthoria parietina*  
composition of elements  
 $\mu$ -XRF  
distribution of elements  
surface of thallus  
periphery of thallus  
central part of thallus

**Summary:**

The composition of 19 elements - Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb - were compared in the peripheral (younger) and central (older) parts of the upper surface of the epiphytic lichen *Xanthoria parietina* thallus from the bark of *Sorbus aucuparia* in Moscow city using sample-nondestructive  $\mu$ -XRF spectrometer. This species is often used in biomonitoring of air quality. The results showed that the elements content was highly variable. Mean values of atomic percent of Fe, Co, Zn, and Pb were statistically higher in the central part of the upper surface, while P, S, Cl, K, Ca, and Mn were higher in the peripheral part. Differences between other elements were not statistically valid, but there is a trend to greater maintenance of the majority of the elements on the surface of the central part of the thallus. Mapping the distribution of some elements on the part of the thallus surface is presented.