



# МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оригинальная статья / Original article  
УДК 574.2+504.054  
DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-150-163

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИШАЙНИКА *HYPOGYMNIA PHYSODES* В КАЧЕСТВЕ АККУМУЛЯТИВНОГО БИОИНДИКАТОРА ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Татьяна А. Трифонова\*, Андрей С. Салмин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия, [tatrifon@mail.ru](mailto:tatrifon@mail.ru)

**Резюме. Цель.** Провести оценку лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., как аккумулятивного биоиндикатора загрязнения атмосферного воздуха территории промышленного города. **Методы.** Методом рентгенфлуоресцентного анализа определены валовые концентрации ряда тяжелых металлов (ТМ): Pb, Cr, Fe, Cu, Co, Ni в талломах эпифитного лишайника *H. physodes*, в условиях аэрального техногенного загрязнения на территории города Казани. **Результаты.** На основе полученных данных определено, что содержание свинца в талломах лишайника лежит в пределах 0,02÷3,08 мг/кг; хрома 0,68÷2,82 мг/кг; железа 6,46÷542,99 мг/кг; меди 6,28÷21,52 мг/кг; кобальта 0,01÷0,32 мг/кг; никеля 0,03÷1,48 мг/кг. **Заключение.** Выявлены различия содержания ТМ в талломах лишайников в районах города с различной экологической обстановкой. На основе элементного состава талломов произведено районирование территории города. Центильный анализ позволил выявить высокие концентрации ТМ в талломах лишайников в дополнение к инструментальным методам. В результате проведенного исследования показаны высокие биомониторинговые качества лишайника *H. physodes*.

**Ключевые слова:** лишеноиндикация, лишайники, атмосферное загрязнение, тяжелые металлы, город Казань.

**Формат цитирования:** Трифонова Т.А., Салмин А.С. Использование лишайника *Hypogymnia physodes* в качестве аккумулятивного биоиндикатора техногенного загрязнения атмосферы // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N2. С.150-163. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-150-163

## APPLICATION OF THE *HYPOGYMNIA PHYSODES* LICHEN AS AN ACCUMULATIVE BIOINDICATOR OF ANTHROPOGENIC ATMOSPHERE POLLUTION

Tatiana A. Trifonova\*, Andrey S. Salmin

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, [tatrifon@mail.ru](mailto:tatrifon@mail.ru)



**Abstract. Aim.** This study was aimed at assessing the possibility of using the *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. lichen as an accumulative bioindicator of atmospheric air pollution in industrial cities. **Methods.** Under the conditions of aerial anthropogenic pollution in the city of Kazan, bulk concentrations of such heavy metals (HM) as Pb, Cr, Fe, Cu, Co and Ni were determined in the thalli of epiphytic *H. physodes* lichen using X-ray fluorescence analysis. **Results.** According to the data obtained, the samples of lichen thalli contained  $0.02 \div 3.08$ ,  $0.68 \div 2.82$ ,  $6.46 \div 542.99$ ,  $6.28 \div 21.52$ ,  $0.01 \div 0.32$  and  $0.03 \div 1.48$  mg/kg of lead, chromium, iron, copper, cobalt and nickel, respectively. **Conclusion.** It is established that the city districts characterized by different environmental conditions showed various HM contents in lichen thalli. On the basis of the elemental composition of the thalli, zoning of the city area was carried out. In addition to instrumental methods, a centile analysis revealed high HM concentrations in the lichen thalli. The conducted research has confirmed high biomonitoring characteristics of the *H. physodes* lichen. **Keywords:** lichen indication, lichens, atmospheric pollution, heavy metals, Kazan city.

**For citation:** Trifonova T.A., Salmin A.S. Application of the *Hypogymnia physodes* lichen as an accumulative bioindicator of anthropogenic atmosphere pollution. *South of Russia: ecology, development*. 2019, vol. 14, no. 2, pp. 150-163. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-150-163

## ВВЕДЕНИЕ

Отсутствие специализированных органов саморегуляции и водообмена способствует моментальному ответу организма лишайника на внешние раздражители, что, в свою очередь, определило значимую роль лишайников в мониторинговых исследованиях загрязнения атмосферного воздуха [1]. Современная методология лишайноиндикационных исследований развивается по двум направлениям: первое – исследование морфологических изменений в структурных образованиях талломов под влиянием антропогенного загрязнения [2], в том числе, изучение фрактальной размерности, и второе – определение элементного состава тканей лишайников, а именно аккумулятивная биоиндикация загрязнения среды [3-6].

Исследования атмосферного загрязнения с использованием *H. physodes* проводились многими отечественными и зарубежными учеными [3-5; 7; 8]. Показано, что *H. physodes* имеет среднюю устойчивость к высокому загрязнению атмосферного воздуха, при этом, накапливая ТМ в талломах в значительных количествах, что обуславливает ее значимость как аккумулятивного биоиндикатора, в сравнении с видами, которые, при тех же уровнях загрязнения, выпадают из сообщества.

Известна способность *H. physodes* накапливать высокие концентрации металлов [9]. Выявлено, что в городской среде, в сравнении с другими видами эпигейных и эпифитных лишайников, в талломах *H. physodes* концентрация металлов выше. Данная особенность, в условиях крупных промышленных центров, показана для таких металлов как медь, стронций, цинк, кадмий и кобальт [10]. При этом, большинство исследований в области аккумулятивной лишайноиндикации привязаны к районам с высокой антропогенной нагрузкой (промышленные центры, крупные автомагистрали). Исследований, основанных на использовании лишайников в качестве мониторинговых организмов разных функциональных зон мегаполисов, с выделением функциональных зон всей территории города, крайне мало. В крупных городах слежение за качеством воздушной среды осуществляется на стационарных постах, которые, как правило, единичны, что не дает возможности провести подобную оценку. При неравномерном распределении объектов промышленности на городской территории и высокой транспортной нагрузке появляется необходимость в дополнительных мониторинговых исследованиях.

Использование биоаккумуляционных качеств лишайников, в дополнение к инструментальным методам контроля, позволяет получать актуальные данные по состоянию атмосферного воздуха обширной территории города.

Исходя из вышесказанного *цель* исследования – оценка лишайника *H. physodes*, как аккумулятивного биоиндикатора загрязнения атмосферного воздуха всей территории города. Картографическая интерпретация данных, позволит произвести функциональное зонирование территории города; выделить районы с высоким уровнем загрязнения.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работы выполнены на территории регионального центра Республики Татарстан – города Казани. Административно город Казань разделен на 7 районов: Советский, Приволжский, Вахитовский, Московский, Авиастроительный, Ново-Савиновский и Кировский. Согласно «Ежегодному обзору состояния загрязнения атмосферного воздуха», по результатам проводимых наблюдений ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», основными загрязняющими веществами в городе в 2017 году являются органические загрязнители, взвешенные вещества и тяжелые металлы. Мониторинговые исследования загрязнения атмосферного воздуха проводятся на 10 пунктах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ). Установлено, что уровень атмосферного загрязнения в городе «повышенный».

В качестве биоиндикатора в работе использовался лишайник вида *H. physodes* (рис. 1), который является типичным представителем семейства *Parmeliaceae*, и имеет широкое распространение по всей территории России, за исключением, степных и полупустынных регионов. Он относится к эпифитным листоватым лишайникам с гетеромерным строением слоевища.



**Рис.1.** Таллом лишайника *H. physodes* на ветке форофита *Betula Pendula* (Roth).  
Фото А.С. Салмин

**Fig.1.** *H. physodes* lichen thallus on a *Betula Pendula* (Roth) forophyte branch.  
Photo by A.S. Salmin

Пробоотбор производился в летний период 2017 года. Для исключения вероятности влияния форофита на физико-химические процессы в организме лишайника, пробоотбор осуществлялся исключительно со стволов *Betula pendula* (Roth). В целях максимального покрытия территории города, было заложено 127 площадок пробоотбора тал-



ломов *H. physodes*. Пробоотбор осуществлялся со всего ствола в промежутке высот от 0,5 до 1,5 м.

Образцы лишайников очищались, высушивались до воздушно-сухого состояния и озолялись. В полученной золе определялось содержание тяжелых металлов – Pb, Cr, Fe, Cu, Co и Ni на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре (Спектроскан-Макс фирмы НПО «Спектрон», Россия). Исследуемые металлы, в соответствии с ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений», относятся к разным классам опасности. Данная особенность исследования позволяет оценить способность лишайников аккумулировать металлы различной опасности, с точки зрения санитарно-гигиенических нормативов охраны атмосферного воздуха.

Статистическая обработка производилась с использованием статистического пакета «Statistica 10.0» (StatSoft, USA). По полученным данным методами описательной статистики были рассчитаны статистические параметры распределения: среднее, стандартная ошибка, стандартное отклонение, а также составлены корреляционные матрицы.

В биомониторинговых, почвенных и экологических исследованиях для характеристики выборки используют непараметрический метод – метод центильных шкал [11; 12]. Центильный метод, при отсутствии нормативной базы по содержанию ТМ в талломах эпифитных лишайников, позволяет произвести сравнение всей выборки на основе отклонения относительно «нормы». Данный метод дает возможность охарактеризовать региональные нормы по содержанию загрязнителей в популяции. В качестве «нормы» рассматривается интервал от 25 до 75 центиля, как соответствующий средним значениям концентрации данного элемента в популяции; значения выше 75 центиля оценивались как «высокие концентрации»; значение ниже 25 центиля – «низкие концентрации» ТМ в талломах. Идея центильного метода, заключается в том, что концентрации ТМ, лежащие в интервале от 25 до 75 центиля, не оказывают вредного физиологического воздействия на популяцию лишайников. При расчете центилей не учитывались значения ниже области определения прибора.

Картографическая интерпретация полученных данных осуществлялась с использованием программного обеспечения ArgMap 10.5 (Esri, USA). В качестве инструмента нами выбран Spatial Analyst, позволяющий выполнить градировочную заливку изображаемой территории города на основе атрибутивной информации по содержанию ТМ в талломах лишайников. Используя классическую заливку, нами выделены районы с различной степенью загрязнения атмосферы. Пространственный метод определения распространённости загрязнения широко применяется в современных экологических, в первую очередь, мониторинговых исследованиях. Данный метод позволяет выявить и наглядно продемонстрировать районы с высоким и низким содержанием загрязнителей в экосистеме. На таких территориях возможно формирование искусственных биогеохимических провинций.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2а представлена схема расположения точек отбора проб лишайников на территории города Казани. Здесь же представлены некоторые инфраструктурные особенности города. В инфраструктурном зонировании города нами выделены промышленные территории; территории многоэтажных и малоэтажных застроек; территории лесопарковых насаждений, зеленые зоны (в том числе особо охраняемые природные территории (ООПТ)); а также водные объекты (рис. 2а).

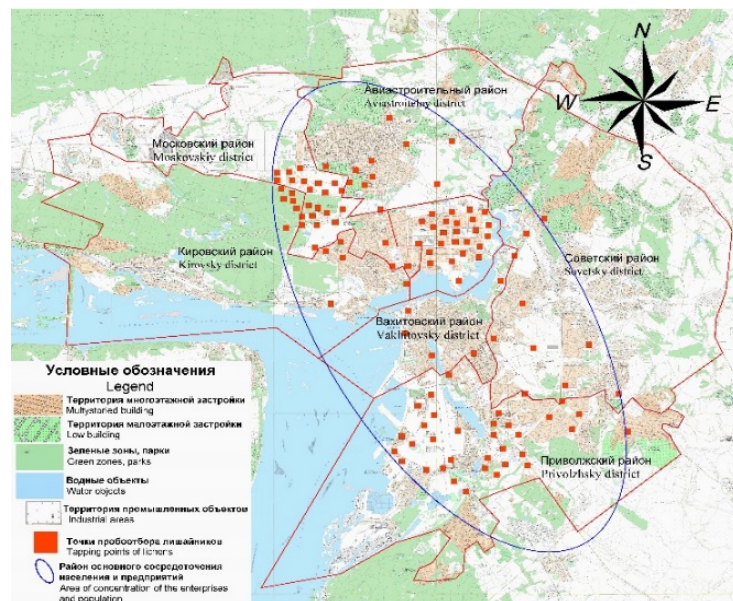
Источники промышленного загрязнения атмосферного воздуха города Казани были объединены в 6 промышленных кластеров по принципу территориальности (рис. 2б):

I кластер – ОАО «Оргсинтез», ТЭЦ-3;

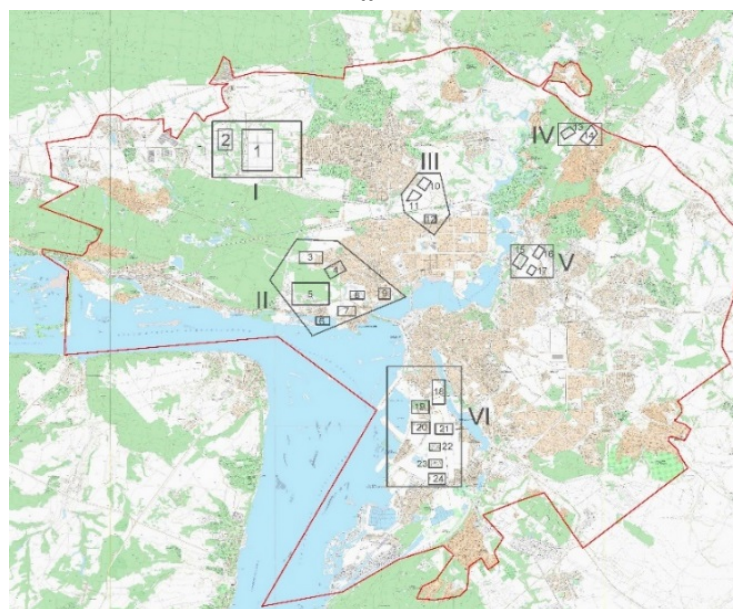
II кластер – ОАО «Полимерфото»; ОАО «Тасма-Холдинг»; КГНПП им. Ленина; Вертолетный завод (филиал); ОАО «Кожевенное объединение»;



III кластер – ОАО «КМПО»; ТЭЦ-2; ФГУП «КАПО им. Горбунова»; ООО Завод «Электрон»;  
IV кластер – ОАО «Хитон»; НПП «КОМЗ»;  
V кластер – ОАО «Казанькомпрессормаш»; ПО «Терминал»; АО «Завод газовой аппаратуры»;  
VI кластер – ОАО «Нэфис»; ЗАО «Кварт»; ТЭЦ-1; АО Завод «Вакууммаш»; ГУП «Теплоконтроль» и др.



а



б

**Рис.2. Точки пробоотбора и инфраструктурное зонирование города Казани (а),  
схема расположения основных промышленных кластеров (б)**

**Fig.2. Sampling points and infrastructural zoning of the city of Kazan (a),  
location map of the main industrial clusters (б)**



Пробы были отобраны во всех административных районах города для определения пространственного распределения атмосферного загрязнения тяжелыми металлами (табл. 1).

На основе полученных данных выявлено, что максимальное среднее значение по содержанию свинца обнаружено в Советском районе (1,27 мг/кг); хрома и меди в Вахитовском районе (2,08 и 19,43 мг/кг соответственно); кобальта и никеля в Авиастроительном районе (0,15 и 0,55 мг/кг соответственно); кобальта и железа в Кировском районе (0,15 и 313,12 мг/кг соответственно).

Минимальное среднее значение по содержанию хрома и свинца отмечены в Ново-Савиновском районе (в среднем – 1,42 и 0,63 мг/кг соответственно); кобальта, никеля, меди и железа в Приволжском районе (0,09; 0,28; 14,53 и 198,85 мг/кг соответственно).

Максимальное значение по содержанию хрома отмечено в Советском районе (2,82 мг/кг); кобальта и никеля в Авиастроительном районе (0,32 и 1,48 мг/кг соответственно); свинца в Приволжском районе (3,08 мг/кг соответственно); железа в Ново-Савиновском районе (542,90 мг/кг), меди в Московском районе (21,52 мг/кг).

Минимальное значение по содержанию хрома, свинца и железа отмечено в Приволжском районе (0,68; 0,02; 6,26 мг/кг); кобальта в Советском, Приволжском и Ново-Савиновском районах (0,01 мг/кг); меди в Советском районе (6,28 мг/кг); никеля в Московском районе (0,03 мг/кг).

**Таблица 1**

**Содержание тяжелых металлов в талломах лишайника *H. physodes* в разных районах города Казани**

**Table 1**

**Heavy metal concentrations in *H. physodes* lichen thalli in different districts of the Kazan city**

$X_{cp} \pm s, \text{ мг/кг} / X_{av} \pm s, \text{ mg/kg}$						
Район District	Хром Chromium	Кобальт Cobaltum	Медь Cuprum	Никель Niccolum	Свинец Plumbum	Железо Ferrum
<b>Советский</b> (n=11) Sovetsky (n=11)	1,97±0,59	0,11±0,10	17,45±4,33	0,32±0,16	<b>1,27±0,56</b>	213,15±120,07
<b>Приволжский</b> (n=37) Privolzhsky (n=37)	1,44±0,40	0,09±0,08	14,53±3,01	0,28±0,14	1,00±0,72	198,85±104,72
<b>Вахитовский</b> (n=8) Vakhitovsky (n=8)	<b>2,08±0,22</b>	0,10±0,04	<b>19,43±1,90</b>	0,34±0,07	1,18±0,61	232,18±57,52
<b>Московский</b> (n=26) Moskovskiy (n=26)	1,62±0,46	0,12±0,07	15,00±3,63	0,32±0,15	0,98±0,72	242,74±131,14
<b>Ново-Савиновский</b> (n=23) Novo-Savinovsky (n=23)	1,42±0,35	0,11±0,08	14,90±2,27	0,32±0,13	0,63±0,32	229,61±102,14
<b>Авиастроительный</b> (n=15) Aviastroitelny (n=15)	1,99±0,41	<b>0,15±0,06</b>	17,03±2,83	<b>0,55±0,31</b>	0,87±0,49	290,81±116,83



<b>Кировский</b> (n=7) Kirovsky (n=7)	1,79±0,43	<b>0,15±0,08</b>	15,66±3,06	0,35±0,13	1,19±0,10	<b>313,12±100,42</b>
<b>По всей</b> <b>выборке</b> All samples	1,64±0,49	0,12±0,07	15,61±3,54	0,34±0,19	0,99±0,68	233,91±116,83
<b><math>X_{\min} \div X_{\max}</math>, мг/кг / <math>X_{\min} \div X_{\max}</math>, mg/kg</b>						
<b>Район</b> District	<b>Хром</b> Chromium	<b>Кобальт</b> Cobaltum	<b>Медь</b> Cuprum	<b>Никель</b> Niccolum	<b>Свинец</b> Plumbum	<b>Железо</b> Ferrum
<b>Советский</b> (n=11) Sovetsky (n=11)	0,69÷2,82	0,01÷0,25	6,28÷21,06	0,13÷0,59	0,39÷2,55	11,87÷425,98
<b>Приволжский</b> (n=37) Privolzhsky (n=37)	0,68÷2,5	0,01÷0,27	6,7÷21,36	0,04÷0,62	0,02÷3,08	6,46÷497,79
<b>Вахитовский</b> (n=8) Vakhitovsky (n=8)	1,82÷2,51	0,03÷0,17	15,76÷21,5	0,24÷0,48	0,72÷2,14	149,14÷326,32
<b>Московский</b> (n=26) Moskovskiy (n=26)	0,88÷2,42	0,03÷0,28	8,16÷21,52	0,03÷0,64	0,07÷2,69	10,55÷533,88
<b>Ново-Савиновский</b> (n=23) Novo-Savinovsky (n=23)	0,9÷2,68	0,01÷0,30	8,64÷19,12	0,14÷0,71	0,07÷1,36	33,65÷542,99
<b>Авиастроительный</b> (n=15) Aviastroitelny (n=15)	1,35÷2,78	0,08÷0,32	10,95÷21,17	0,2÷1,48	0,27÷4,83	125,94÷484,14
<b>Кировский</b> (n=7) Kirovsky (n=7)	1,16÷2,71	0,04÷0,29	11,16÷20,88	0,18÷0,57	1,05÷1,29	118,19÷447,21
<b>По всей</b> <b>выборке</b> All samples	0,68÷2,82	0,01÷0,32	6,28÷15,76	0,03÷0,64	0,02÷4,83	6,46÷542,99

Непосредственно на территории пяти из шести, ранее выделенных промышленных кластеров, произведен отбор 35 проб лишайника (табл. 2).

Проведя анализ полученных аналитических данных выявлено, что максимальные значения по содержанию кобальта и никеля отмечены в промышленном кластере III; хрома в кластере V; свинца в кластере VI. Максимальные значения по содержанию железа и меди в талломах лишайника не отмечены на территории промышленных предприятий города.

На основе полученных данных также проведен пространственный анализ распределения некоторых металлов в атмосфере на территории города Казани и сделан вывод об их неравномерном распределении (рис. 3). Можно выделить несколько искусственно сформировавшихся биогеохимических ареалов на территории города: это северо-западный ареал, расположенный на территориях Московского и Авиастроительного районов (промышленные кластеры I и III), и юго-восточный ареал на территориях, приуроченных к Советскому и Приволжскому району (кластеры V и VI).

Таблица 2

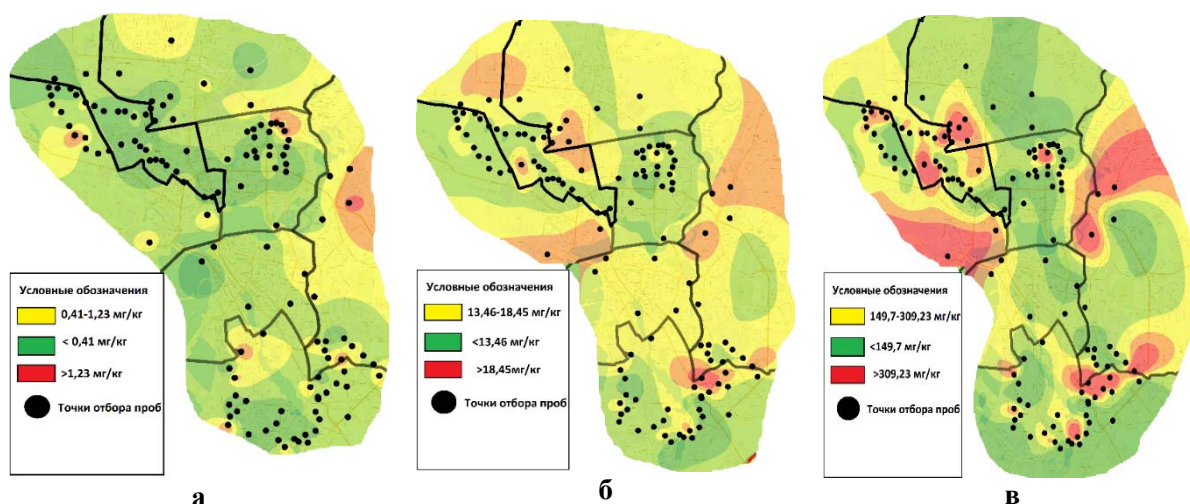
**Содержание тяжелых металлов в талломах лишайника *H. physodes* на территории промышленных кластеров города Казани**

Table 2

**Heavy metal concentrations in *H. physodes* lichen thalli for industrial clusters of the city of Kazan**

Элемент Element	Промышленные кластеры города Казани, $X_{\max}$ , мг/кг Industrial clusters of the city of Kazan, $X_{\max}$ , mg/kg				
	Кластер I (n=6) Cluster I (n=6)	Кластер II (n=5) Cluster II (n=5)	Кластер III (n=4) Cluster III (n=4)	Кластер V (n=4) Cluster V (n=4)	Кластер VI (n=15) Cluster VI (n=15)
<b>Хром</b> Chromium	2,35	2,71	2,78	<b>2,82</b>	2,11
<b>Кобальт</b> Cobaltum	0,23	0,17	<b>0,32</b>	0,25	0,17
<b>Медь</b> Cuprum	20,61	20,87	21,16	20,46	18,29
<b>Никель</b> Niccolum	0,45	0,64	<b>1,48</b>	0,60	0,56
<b>Свинец</b> Plumbum	0,73	1,67	0,98	2,56	<b>3,08</b>
<b>Железо</b> Ferrum	484,90	447,41	484,14	425,98	348,96

Содержание хрома в талломах лишайника *H. physodes* варьировало от 0,68 до 2,82 мг/кг. Среднее значение составляло  $1,64 \pm 0,4$  мг/кг. Максимальное значение отмечено в промышленном кластере V (рис. 3а), территориально расположенном в Советском районе города Казани.



**Рис.3. Карты-схемы распределения свинца (а), меди (б) и железа (в) в золе лишайника *H. physodes*, отобранных в городе Казани, 2017 г.**

**Fig.3. Scheme maps for the distributions of Plumbum (а), Cuprum (б) and Ferrum (в) in *H. physodes* lichen ash sampled in the city of Kazan, 2017**





По уровню загрязнения атмосферы хромом г. Казань является относительно чистым. Для сравнения, содержание хрома в талломах аналогичного лишайника на территории Тюменской области варьируется от 1,22 до 8,55 мг/кг [13]; вблизи медеплавильного комбината варьирует от 1,0 до 6,9 мг/кг [14].

Содержание кобальта в талломах лишайника лежит в пределах от 0,007 до 0,32 мг/кг. Максимальное значение отмечено в промышленном кластере III. Среднее значение составляло – 0,12 мг/кг.

Полученные данные сопоставимы с данными по содержанию кобальта в талломах аналогичного лишайника на территориях ООПТ города Твери – 0,23 мг/кг [15]. Однако, средние значения содержания кобальта на севере Западной Сибири значительно выше – 0,9 мг/кг [13].

Содержание меди в талломах лишайников варьировало от 6,3 до 21,5 мг/кг, при среднем значении – 15,6 мг/кг (рис. 36). Для сравнения, содержание данного элемента в талломах *H. physodes* вблизи медеплавильного завода варьировало от 1,5 до 130 мг/кг [14]; содержание меди на территории Самбийского полуострова Калининградской области сопоставимо с настоящими исследованиями и варьировало от 6,69 до 9,94 мг/кг [16]; среднее содержание меди на севере Западной Сибири – 6,0 мг/кг [13].

Содержание никеля в талломах лишайников *H. physodes* варьировало от 0,032 до 1,48 мг/кг, при среднем значении – 0,34 мг/кг. Полученные данные сопоставимы с данными исследований, проведенных в Европейской части России. Например, на территории Калининградской области содержание никеля варьирует от 0,013 до 2,43 мг/кг [16]; на территориях ООПТ Твери от 1,52 до 2,51 мг/кг [15].

Содержание свинца в талломах лишайника составляло от 0,024 до 3,08 мг/кг. Максимальная концентрация отмечена в промышленном кластере VI. В мониторинговых исследованиях отмечается, что в промышленных районах Калининградской области содержание свинца варьировало от 3,5 до 9,03 мг/кг, что выше данных, полученных в настоящем исследовании [16]. Содержания свинца в промышленном районе Македонии варьируется в широких пределах от 0,61 до 120 мг/кг [14].

Содержание железа в талломах лишайника варьировало достаточно широко: от 6,45 до 542,99 мг/кг. Среднее значение – 233,9 мг/кг (рис.36). Железа в атмосферном воздухе города Казани меньше, в сравнении с исследованиями, проведенными в промышленных и естественных экосистемах: север Западной Сибири – от 338 до 3400 мг/кг [13]; Калининградская область – от 180 до 1135 мг/кг [16]; медный рудник в Македонии – от 1200 до 3700 мг/кг [14].

Используя центильный метод была определена доля проб лишайников в каждом районе, в которых выявлены высокие концентрации ТМ в талломах (табл. 3).

Метод центильных шкал позволил нам сформировать региональные особенности содержания исследуемых тяжелых металлов в талломах лишайника *H. physodes* для города Казани. Таким образом, в качестве региональной «нормы» для хрома принимаются значения от 1,27 до 1,92 мг/кг; кобальта от 0,05 до 0,17 мг/кг; меди от 13,46 до 18,45 мг/кг; никеля от 0,22 до 0,44 мг/кг; свинца от 0,41 до 1,23 мг/кг; железа от 149,7 до 309,23 мг/кг.

На основе центильного анализа выявлено, что во всех районах города отмечены высокие концентрации (выше 75 центиля) всех исследуемых тяжелых металлов в золе лишайников *H. physodes*. Низкие концентрации (ниже 25 центиля) не отмечены в трех районах города – в Вахитовском (по содержанию Cr, Cu, Ni, Pb); Авиастроительном (по содержанию Cr, Co), Кировском (по содержанию Pb). Согласно центильному методу наиболее чистым является Приволжский район города.

Центильный анализ позволил выявить высокие концентрации ТМ в талломах лишайников в дополнение к описательным методам статистики. Дополнительно выявлены высокие концентрации железа в атмосферном воздухе Кировского района (57,2% отобранных проб).



**Таблица 3**

**Центильный анализ содержания тяжелых металлов в золе лишайника  
*H. physodes* в разных районах города Казани**

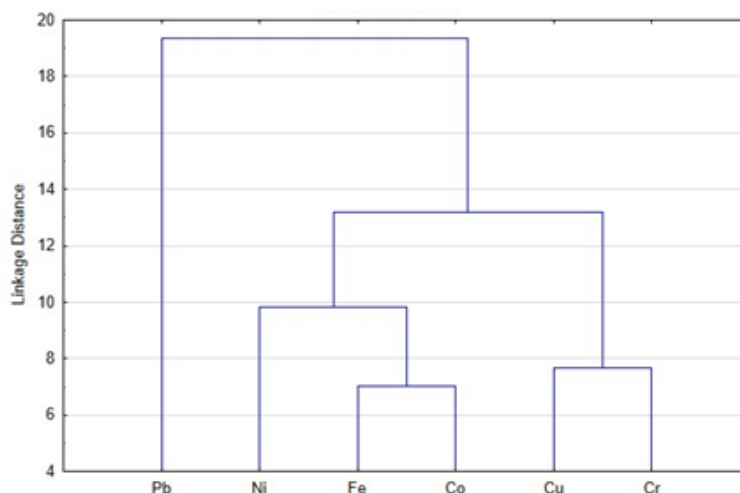
**Table 3**

**Centil analysis of the heavy metal concentration in *H. physodes* lichen ash  
in different parts of the city of Kazan**

Тяжелый металл Heavy metal	Хром Chromium	Кобальт Cobaltum	Медь Cuprum	Никель Niccolum	Свинец Plumbum	Железо Ferrum
<b>Значение 75-ого центиля, мг/кг 75<sup>th</sup> centile value, mg/kg</b>	1,92	0,17	18,45	0,44	1,23	309,23
<b>Район District</b>	<b>Процент высоких концентраций тяжелых металлов в районах города Казани (выше 75 центиля) The proportion of high HM concentrations in areas of Kazan (above 75th centile)</b>					
Советский / Sovetsky	54,5	33,3	54,5	30	50	27,3
Приволжский / Privolzhsky	21,6	17,4	13,5	17,7	20,8	13,5
Вахитовский / Vakhitovsky	62,5	16,7	62,5	12,5	42,8	12,5
Московский / Moskovskiy	26,9	26,3	23,1	30,4	30	34,6
Ново-Савиновский / Novo-Savinovsky	4,3	22,2	4,3	13,7	6,6	13,1
Авиастроительный / Aviastroitelny	46,7	33,3	40	66,7	18,1	46,7
Кировский / Kirovsky	14,3	42,9	28,6	28,6	33,3	57,2
Тяжелый металл Heavy metal	Хром Chromium	Кобальт Cobaltum	Медь Cuprum	Никель Niccolum	Свинец Plumbum	Железо Ferrum
<b>Значение 25-ого центиля, мг/кг 25<sup>th</sup> centile value, mg/kg</b>	1,27	0,05	13,46	0,22	0,41	149,7
<b>Район District</b>	<b>Процент высоких концентраций тяжелых металлов в районах города Казани (ниже 25 центиля) The percentage of high HM concentrations in areas of Kazan (under 25th centile)</b>					
Советский / Sovetsky	18,2	50	18,2	40	10	27,3
Приволжский / Privolzhsky	35,1	34,8	35,1	35,3	25	35,1
Вахитовский / Vakhitovsky	0	33,3	0	0	0	12,5
Московский / Moskovskiy	30,8	21,1	34,6	26,1	30	26,9
Ново-Савиновский / Novo-Savinovsky	34,8	22,2	17,4	27,3	26,7	17,4
Авиастроительный / Aviastroitelny	0	0	13,3	6,6	27,3	13,3
Кировский / Kirovsky	14,3	28,6	28,6	14,3	0	14,3

Для определения синергизма между металлами и путями их поступления, нами произведен анализ дендрограмм корреляционных матриц (рис. 4).

Исходя из проведенного анализа дендрограмм корреляционных матриц можно сделать вывод об ассоциации тяжелых металлом и тесной связи друг с другом: Ni-Fe-Co; Cr-Cu.



**Рис.4. Дендрограмма корреляционных матриц концентраций тяжелых металлов в золе лишайника *H. physodes***

**Fig.4. Correlation dendrogram for HM concentrations in *H. Physodes* lichen ash**

Следует отметить, что природа возникновения первой группы элементов, по-видимому, связана с деятельностью предприятий теплоэнергетики, преимущественно (ТЭЦ-1,2,3) и металлообрабатывающей промышленностью. Поступление второй группы элементов в атмосферу (Cr-Co), вероятно, связано с деятельностью предприятий химической промышленности и котельных, использующих низкокачественное топливо.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка атмосферного загрязнения воздушной среды с использованием в качестве биоиндикатора лишайника *H. physodes* показала, что пространственное распределение поллютантов на территории города Казани неравномерно. В промышленных кластерах отмечены максимальные загрязнения по хрому, кобальту, никелю и свинцу.

С использованием центильных шкал предложено определять региональные нормы содержания тяжелых металлов в талломах лишайника *H. physodes*. Полученные диапазоны содержания тяжелых металлов в талломах лишайников можно использовать в дополнение к инструментальным методам мониторинга качества атмосферного воздуха.

На основе центильного анализа выявлено, что во всех районах города Казани отмечены высокие концентрации (выше 75 центиля) всех исследуемых тяжелых металлов в золе лишайников *H. physodes*. Наиболее чистым является Приволжский район города – почти треть всех образцов имеет содержание ТМ ниже «нормы», что характеризует территорию, как «чистую» по качеству атмосферного воздуха.

Центильный анализ позволил выявить высокие концентрации ТМ в талломах лишайников в дополнение к инструментальным методам. Так, высокое содержание железа в атмосферном воздухе Кировского района отмечено в 57,2 % отобранных проб.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бязров Л.Г., Кривоуцкий Д.А. Лишайники в экологическом мониторинге. Москва: Научный мир, 2002. 336 с.
2. Малышева Н.В. Лишайники Санкт-Петербурга. СПб: Изд-во Спб. ун-та, 2003. 97 с.
3. Bruteig I.E. The epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* as a biomonitor of atmospheric nitrogen and sulphur deposition in Norway // Environmental monitoring and assessment. 1993. V. 26. Iss. 1. P. 27-47. Doi: 10.1007/BF00555060



4. Helena P., Franc B., Cvetka R.L. Monitoring of short-term heavy metal deposition by accumulation in epiphytic lichens (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) // Journal of Atmospheric Chemistry. 2004. V. 49. Iss. 1-3. P. 223-230. Doi: 10.1007/s10874-004-1227-6
5. Большунова Т.С., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Элементный состав лишайников как индикатор загрязнения атмосферы // Экология и промышленность России. 2014. N11. С. 26-31.
6. Вершинина С.Э., Вершинин К.Е., Кравченко О.Ю., Чебыкин Е.П., Воднева Е.Н. Элементный состав лишайников р. *Cetraria* Ach. из различных регионов России // Химия растительного сырья. 2009. N1. С.141-146.
7. Михайлова И.Н., Кшнясев И.А. Содержание тяжелых металлов в талломах лишайника *Hypogymnia Physodes*: источники гетерогенности // Сибирский экологический журнал. 2012. Т. 19. N 3. С. 423-428.
8. Трифонова Т.А., Дюков В.В. Особенности развития лишайниковых сообществ в условиях городской среды // Проблемы региональной экологии. 2004. N 1. С. 11-20.
9. Михайлова И.Н., Шарунова И.П. Динамика аккумуляции тяжелых металлов в талломах эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* // Экология. 2008. N 5. С. 366-372.
10. Жидков А.Н. Накопление химических веществ эпифитными и эпигейными лишайниками сосновых насаждений в условиях техногенного загрязнения среды // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2008. N 1. С. 151-156.
11. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова г. Перми: тяжелые металлы и мышьяк // Пермский аграрный вестник. 2015. N 1(9). С. 34-49.
12. Ширкин Л.А., Трифонова Т.А., Кошман В.А., Краснощеков А.Н. Оценка техногенной трансформации почвенного покрова с применением анализа магнитной восприимчивости почв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. N 5 (3). С. 865-870.
13. Московченко Д.В., Валеева Э.И. Содержание тяжелых металлов в лишайниках на севере Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. N 11. С. 162-172.
14. Balabanova B., Stafilov T., Šajn R., Baèeva K. Characterisation of heavy metals in lichen species *Hypogymnia physodes* and *Evernia prunastri* due to biomonitoring of air pollution in the vicinity of copper mine // International Journal of Environmental Research. 2012. V. 6. Iss. 3. P. 779-794. Doi: 10.22059/IJER.2012.549
15. Кутикова А.О., Мейсурова А.Ф. Содержание металлов в лишайниках из особо охраняемых природных территорий города Твери // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2016. N 1. С. 152-158.
16. Королева Ю.В., Ревунков В.А. Содержание микроэлементов в лишайнике *Hypogymnia physodes* в лесных массивах Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2016. N 1. С. 85-94.

#### REFERENCES

1. Byazrov L.G., Krivolutskii D.A. *Lishainiki v ekologicheskom monitoringe* [Lichens in environmental monitoring]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2002, 336 p. (In Russian)
2. Malysheva N.V. *Lishainiki Sankt-Peterburga* [Lichens of Saint-Petersburg]. Saint-Petersburg, SPbGU Publ., 2003, 97 p. (In Russian)





3. Bruteig I.E. The epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* as a biomonitor of atmospheric nitrogen and sulphur deposition in Norway. *Environmental monitoring and assessment*, 1993, vol. 26, iss. 1, pp. 27-47. DOI: 10.1007/BF00555060
4. Helena P., Franc B., Cvetka R.L. Monitoring of short-term heavy metal deposition by accumulation in epiphytic lichens (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.). *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2004, vol. 49, iss. 1-3, pp. 223-230. Doi: 10.1007/s10874-004-1227-6
5. Bolshunova T.S., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V. Ultimate Composition of Lichens as Indicator of Aerial Contamination. *Ekologia i promyshlennost Rossii* [Ecology and industry of Russia]. 2014, no. 11, pp. 26-31. (In Russian)
6. Vershinina S.Ed., Vershinin K.E., Kravchenko O.Yu., Chebykin E.P., Vodneva E.N. Element structure of lichens *Cetraria Ach.* in various regions of Russian Federation. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material]. 2009, no. 1, pp. 141-146. (In Russian)
7. Mikhailova I.N., Kshnyasev I.A. Content of heavy metals in thalli of the lichen *Hypogymnia physodes*: Sources of heterogeneity. *Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology]. 2012, vol. 19, no. 3, pp. 423-428. (In Russian)
8. Trifonova T.A., Dyukov V.V. Features of development of lichen communities in the conditions of urban environment. *Problemy regional'noi ekologii* [Regional Environmental Issues]. 2004, no. 1, pp. 11-20. (In Russian)
9. Mikhailova I.N., Sharunov I.P. Dynamics of heavy metal accumulation in thalli of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes*. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology]. 2008, no. 5, pp. 366-372. (In Russian)
10. Zhidkov A.N. Accumulation of chemical substances by epiphytic and epigenic lichens of pine plantations in conditions of technogenic pollution. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoi vestnik* [Bulletin of Moscow State Forest University - Forestry Bulletin]. 2008, no. 1, pp. 151-156. (In Russian)
11. Vasiliev A.A., Lobanova E.S. Ecological and geochemical estimation of soil cover in Perm: heavy metals and arsenic. *Permskii agrarnyi vestnik* [Perm Agrarian Journal]. 2015, no. 1(9), pp. 34-49. (In Russian)
12. Shirkin L.A., Trifonova T.A., Koshman V.A., Krasnoschekov A.N. Estimation of soil technogenic transformation by analysis of the magnetic susceptibility. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012, vol. 14, no. 5 (3), pp. 865-870. (In Russian)
13. Moskovchenko D.V., Valeeva E.I. Content of heavy metals in lichens of West Siberian North. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya* [Bulletin of ecology, forestry and landscape studies]. 2011, no. 11, pp. 162-172. (In Russian)
14. Balabanova B., Stafilov T., Šajn R., Baèeva K. Characterisation of heavy metals in lichen species *Hypogymnia physodes* and *Evernia prunastri* due to biomonitoring of air pollution in the vicinity of copper mine. *International Journal of Environmental Research*, 2012, vol. 6, iss. 3, pp. 779-794. Doi: 10.22059/IJER.2012.549
15. Kutikova A.O., Meysurova A.F. The metal content in lichens from especial protected natural areas of town Tver. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya* [Bulletin of the Tver State University. Series: Chemistry]. 2016, no. 1, pp. 152-158. (In Russian)
16. Koroleva Y.V., Revunkov V.A. Microelement content in lichen *hypogymnia physodes* in the forests of the Kaliningrad region. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki* [IKBFU's Vestnik. Ser. natural and medical sciences]. 2016, no. 1, pp. 85-94. (In Russian)



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### Принадлежность к организации

**Татьяна А. Трифонова\***, доктор биологических наук, профессор, кафедра географии почв, факультет Почвоведения, МГУ им. М. В. Ломоносова; Россия, 119991 г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: tatrifon@mail.ru

**Андрей С. Салмин**, аспирант, кафедра географии почв, факультет Почвоведения, МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-2595-5439

### Критерии авторства

Татьяна А. Трифонова обеспечила постановку целей и задач проведенного исследования, проанализировала данные, участвовала в написании рукописи, корректировала рукопись до подачи в редакцию. Андрей С. Салмин осуществлял пробоотбор образцов и их дальнейшую пробоподготовку, проводил аналитические измерения, производил картографическую и статистическую интерпретацию полученных данных, участвовал в написании рукописи. Все авторы в равной степени несут ответственность за плагиат или другие неэтические проблемы.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.02.2019

Принята в печать 23.03.2019

## AUTHOR INFORMATION

### Affiliations

**Tatiana A. Trifonova\***, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Department of Soil Geography, Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University; 119991 Russia, Moscow, Leninskiye Gory, 1, b. 12; e-mail: tatrifon@mail.ru

**Andrey S. Salmin**, PhD researcher, Department of Soil Geography, Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-2595-5439

### Contribution

Tatiana A. Trifonova formulated the aim and objectives of the study, analysed the data, participated in the preparation of the manuscript and revised the manuscript prior to its submission. Andrey S. Salmin collected samples and conducted their further preparation, carried out analytical measurements, performed cartographic and statistical interpretation of the data and participated in the preparation of the manuscript. Both authors are equally responsible for plagiarism and other ethical issues.

### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 05.02.2019

Accepted for publication 23.03.2019