

---

## 03.02.08 – ЭКОЛОГИЯ 03.02.08 – ECOLOGY

---

УДК 504.064:582.29+543.42  
DOI 10.18413/2658-3453-2021-3-1-64-73

### О проблеме оценки индикаторной способности близкородственных видов лишайников по данным спектрального анализа

**А.Ф. Мейсурова, А.А. Нотов**  
Тверской государственный университет,  
Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33  
E-mail: alexandrauraz@mail.ru; anotov@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрена проблема оценки индикаторной способности систематически близких видов эпифитных лишайников на основе данных об их элементном составе, получаемых с помощью атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. На примере представителей рода *Hypogymnia* показано, что *H. tubulosa* по сравнению с *H. physodes* обладает более высокой накопительной способностью по отношению к кальцию, железу, литию, а также к таким тяжелым металлам, как кадмий, свинец, алюминий, титан, сурьма. Однако *H. tubulosa* резистентен к мышьяку. Сопряженный анализ элементного состава и физиолого-биохимических характеристик близкородственных видов лишайников будет способствовать выяснению механизмов устойчивости одних видов и причин уязвимости других в условиях загрязнения среды. Это позволит расширить возможности биомониторинговых исследований и будет способствовать разработке рекомендаций по сохранению биоразнообразия и стабильности природных экосистем.

**Ключевые слова:** *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa*, эпифитные лишайники, АЭС-ИСП-анализ, макроэлементы, микроэлементы, тяжелые металлы, биомониторинг, Тверская область.

**Для цитирования:** Мейсурова А.Ф., Нотов А.А. 2021. О проблеме оценки индикаторной способности близкородственных видов лишайников по данным спектрального анализа. *Полевой журнал биолога*, 3 (1): 64–73. DOI: 10.18413/2658-3453-2021-3-1-64-73

*Поступила в редакцию 1 февраля 2021 года*

---

### The Estimationproblem of Indicator Ability of Closed Related Lichen's Species Based on Spectral Analysis

**Alexandra F. Meysurova, Alexander A. Notov**  
Tver State University,  
33 Zhelyabova St, Tver, 170100, Russian Federation  
E-mail: alexandrauraz@mail.ru; anotov@mail.ru

**Abstract.** Epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* is widely used in the biomonitoring of environmental condition. The lichen is widely spread and is able to grow in terms of moderate technogenic pollution. However, not all of the systematically related species turn out to have the same stability. Taxonomically close kind of species such as *Hypogymnia tubulosa* disappears fast as a result of ecosystem's transformation. The aim of the work was to consider the estimation problem of indicator ability of

systematically related species and analyse their elemental content with the use of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. The experiment on *Hypogymnia* indicates that *H. tubulosa* has a high accumulating ability to calcium, iron, lithium and also heavy metals such as cadmium, lead, aluminium, titan, stibium compared with *H. physodes*. However, this kind of species appears to be resistant to arsenic. The analysis that includes elemental content and physio-biochemical characteristics of closely related lichen's species will enable people to understand the species' resistant mechanisms and vulnerability of the other in the polluted environmental conditions and will become the basis to arrange recommendations of the nature preservation events.

**Keywords:** *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa*, epiphytic lichens, AAS-ICP analysis, macronutrients, trace elements, heavy metals, biomonitoring, Tver region.

**For citation:** Meysurova A.F., Notov A.A. 2020. The Estimationproblem of Indicator Ability of Closed Related Lichen's Species Based on Spectral Analysis. *Field Biologist Journal*, 3 (1): 64–73. (In Russian.) DOI: 10.18413/2658-3453-2021-3-1-64-73

Received February 1, 2021

## Введение

В настоящее время в биомониторинге состояния окружающей среды широко используют лишайники [Meysurova et al., 2014; Meysurova, Notov, 2016b; Трифонова, Салмин, 2019]. Некоторые виды в качестве биоиндикаторов используют особенно часто – это устойчивые к антропогенному загрязнению лишайники. Например, благодаря широкому распространению и возможности расти в условиях умеренного техногенного загрязнения эпифитный лишайник *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. стал традиционным объектом биомониторинга [Gauslaa et al., 2016; Meysurova, Notov, 2016b; Parzych et al., 2016; Трифонова, Салмин, 2019]. Для оценки состояния среды также используют *Parmelia sulcata* Taylor [Pungin, Dedkov, 2017]. В особо загрязнённых районах в мониторинговых исследованиях чаще применяют *Xanthoria parietina* (L.) Belt. [Бязрова, Пельгунова, 2015; Ле Тхи Бич Нгуэт и др., 2017; Meysurova, Notov, 2020]. Эти виды лишайников в разной степени чувствительны к загрязнению. В условиях сильного антропогенного воздействия они активно накапливают разные поллютанты, в том числе металлы и металлоиды (ТМ) [Meysurova et al., 2014; Трифонова, Салмин, 2019].

Однако возрастает необходимость оценки состояния среды в экосистемах, испытывающих разную степень антропогенного воздействия, в том числе и на территориях с минимальным или незначительным техногенным загрязнением. В этой связи актуально выяснение индикаторной способности других видов лишайников. Крайне интересны близкородственные виды с разной чувствительностью к содержанию экотоксикантов в окружающей среде. Целесообразен специальный поиск модельных таксонов и территорий, детальное изучение процессов поглощения поллютантов у систематически близких видов лишайников. Подобные исследования будут способствовать разработке методических основ оценки индикаторной способности близкородственных видов, перспектив их использования в биомониторинге.

Интересным модельным объектом является род *Hypogymnia* Nyl. Не все представители этого рода могут расти в условиях выраженного антропогенного воздействия. Другие виды по сравнению *H. physodes* более уязвимы и быстро исчезают в результате происходящей трансформации природных экосистем. Актуален вопрос их охраны [Гимельбрант, Кузнецова, 2009; Красная книга..., 2018]. Среди них систематически близкий вид *H. tubulosa* (Schaer.) Nav. [Stojanović et al., 2018]. Он практически не встречается в урбозекосистемах, хотя иногда может некоторое время сохраняться в крупных лесопарковых зонах небольших городов. В отличие от *H. physodes*, он крайне неустойчив к любому антропогенному влиянию, очень чувствителен к

загрязнению среды поллютантами и приурочен преимущественно к природным ненарушенным фитоценозам [Скрипченко, Вахромеева, 2014]. В отдельных областях Центральной России *H. tubulosa* включена в мониторинговые списки региональных Красных книг [2010, 2018]. Вид реагирует на уменьшение степени стабильности режима влагообеспеченности воздуха, которая является общим следствием изменения микроклимата лесных экосистем в измененных человеком ландшафтах. Анализ специфики процессов поглощения экотоксикантов, в том числе и ТМ, из воздушной среды у этих близких видов рода *Hypogymnia* будет способствовать выявлению причин разной устойчивости, выяснению особенностей их реагирования на техногенное загрязнение, механизмов взаимодействия с поллютантами. Все это позволит оценить индикаторную способность и возможности использования этих видов лишайников в биомониторинге.

Вероятность одновременного произрастания *H. physodes* и *H. tubulosa* в одном биотопе со следами техногенного загрязнения, особенно в лесопарковых зонах городов, очень низкая. Тверская область является удобной модельной территорией, на которой в одном местообитании в таких биотопах могут встречаться оба вида. Оптимальным для выявления элементного состава в образцах лишайников можно считать атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП-анализ). Он позволяет с высокой точностью определять металлы даже при их крайне низком содержании.

Цель работы – с помощью АЭС-ИСП-анализа выяснить специфику накопления элементов у двух систематически близких видов лишайников – среднеустойчивого к загрязнениям *H. physodes* и неустойчивого *H. tubulosa*.

### Материал и методы исследования

Объектами исследования были образцы двух эпифитных видов – *H. physodes* и *H. tubulosa*. Материал собран в 2015–2018 гг. в Тверской области в 4 пунктах, по-разному удаленных от крупных источников антропогенного загрязнения среды, располагающихся в природных сообществах, лесопарковых и рекреационных зонах, которые испытывают незначительную рекреационную нагрузку [Справочник..., 2018].

1. Калининский р-н, национальный парк «Завидово», Тургиновское лесничество, кв. 122/123 (57°23'0,5" с. ш. 35°54'40,3" в. д.), ельник с березой черничный, на ветвях ели, 31.10.2015. Источники загрязнения на расстоянии около 60 км: ОАО «Редкинский опытный завод» (химическая отрасль), трасса М-10 «Россия».

2. Пеновский р-н, окр. д. Полово (57°07'52,3" с. ш. 32°26'12,1" в. д.), 09.07.2016, ельник с березой сфагново-черничный, на ветвях ели. Источники загрязнения на расстоянии около 30 км: ООО «ДискавериПено» (деревообрабатывающая отрасль).

3. Оленинский р-н, д. Бобровка (56°15'24,2" с. ш. 33°29'42,6" в. д.), 20.08.2018, северо-восточная часть усадебного парка Бобровка, на ветвях ели. Источники загрязнения на расстоянии около 8 км и 2 км: ООО «ДискавериПено» (деревообрабатывающая отрасль), трасса М-9 «Балтия».

4. Жарковский р-н, п. Жарковский (55°50'30,9" с. ш. 32°15'08,7" в. д.), 21.08.2018, березовая аллея у стадиона, на коре березы. Источники загрязнения на расстоянии около 1–2 км: «Жарковский ДОК» (деревообрабатывающая отрасль), транспортные объекты п. Жарковский.

Всего исследовано свыше 45 образцов, общее число собранных образцов из одного пункта для каждого вида составляет 4–7. Собранные образцы сушили при комнатной температуре до постоянной массы, гомогенизировали и хранили до начала анализа в полиэтиленовых пакетах [Голубкина, 2018]. Элементный анализ проводили с помощью АЭС-ИСП-спектрометра iCAP 6300 Duo (Thermo Scientific, США) по стандартной методике [Meysurova, Notov, 2016a, 2016b]. Полученные концентрации выявленных элементов

в образцах лишайников сравнивали с известными фоновыми значениями для Тверского региона [Meysurova, Notov, 2016a, 2020]. Фоновые региональные концентрации для *H. physodes* установлены для 15 металлов (Al, As, Cd, Co, Cu, Ge, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, V, Zn) [Meysurova, Notov, 2016a, 2020]. Учитывали также мировые фоновые значения [Московиченко, Валеева, 2011].

Статистическую обработку полученных данных (среднее значение, стандартное отклонение, коэффициенты вариации и корреляции Пирсона, *t*-критерий Стьюдента) проводили с помощью стандартных методов математической статистики с использованием лицензионных программных продуктов Microsoft Office Excel 2013.

### Результаты и их обсуждение

С помощью АЭС-ИСП-анализа в образцах двух видов рода *Hypogymnia* обнаружили 23 элемента. Среди них макро- (K, Ca, Mg, Na) и микроэлементы (B, Ba, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn), а также тяжелые металлы и металлоиды (ТМ) (Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sn, Sr, V, Ti, W) (см. таблицу).

В пределах одной группы тяжелых и потенциально токсичных металлов (ТМ) были включены некоторые легкие металлы (алюминий, титан). В работах, посвященных изучению воздействия поллютантов, отнесение таких металлов к ТМ связано с проявлением, прежде всего, биологической активности и определенной степени токсичности [Голубкина и др., 2019; Meysurova et al., 2020].

Среди выявленных металлов у сравниваемых видов 20 элементов отмечены во всех пунктах исследования (см. таблицу), Ni обнаружен только в образцах из национального парка Завидово, Sn – в образцах из Завидово и д. Бобровка, Li – в образцах из Завидово, окр. д. Полово и д. Бобровка. Это может быть связано с особенностями экологических условий мест произрастания видов, а также влиянием функционирующих предприятий разных отраслей в исследуемых районах. Например, известно, что источником загрязнения среды никелем могут быть предприятия химической отрасли, использующие в технологических процессах различные соединения никеля, котельные и тепловые электростанции, работающие на мазуте и каменном угле, а также автотранспорт.

Содержание большинства выявленных элементов не превышает значения фоновых концентраций для Тверской области, а также мировые фоновые показатели [Мейсунова, Нотов, 2016; Meysurova, Notov, 2020]. Однако уровни содержания элементов в образцах изученных видов нередко различаются. Значения концентраций большинства выявленных элементов оказались более высокими в образцах *H. tubulosa*. При этом, в связи с высокой накопительной способностью *H. tubulosa* по отношению к одним элементам, а в ряде случаев со слабым поглощением других элементов, различия в уровнях содержания отдельных элементов у сравниваемых видов варьируют в очень широких пределах.

В зависимости от уровня накопительной способности талломами *H. tubulosa* элементы можно условно разделить на три группы. Однако некоторые элементы в зависимости от экологических условий местообитаний в ряде случаев могут представлять разные группы.

#### 1. Элементы, содержание которых выше в образцах *H. tubulosa*.

Данная группа самая многочисленная и включает как ТМ (например, Al, Cd, Pb, Sr, W, V, Ti), так и макро- (прежде всего, Ca) и микроэлементы (прежде всего, B, Cu, Fe, Zn).

Наибольшее число элементов данной группы в образцах *H. tubulosa* зарегистрировано в образцах из окр. д. Полово (17) и д. Бобровка (16), наименьшее – в образцах из п. Жарковский (рис. 1).

Эта группа элементов неоднородна по уровню кратности превышения концентраций у *H. tubulosa* по сравнению с *H. physodes*. Различия в содержании элементов могут быть значительными. По некоторым элементам значения концентраций могут различаться в 2 и более раз (рис. 2).

Содержание элементов в талломах видов рода *Hypogymnia* в пунктах исследования на территории Тверской области, мг/кг  
Element content in thalli of species of genus *Hypogymnia* in different sites in Tver region, mg/kg

Элемент	Национальный парк Завидово		окр. д. Полово		д. Бобровка		п. Жарковский	
	<i>H. tubulosa</i>	<i>H. physodes</i>	<i>H. tubulosa</i>	<i>H. physodes</i>	<i>H. tubulosa</i>	<i>H. physodes</i>	<i>H. tubulosa</i>	<i>H. physodes</i>
<b>Тяжелые металлы и металлоиды</b>								
Al	308,80±10,83	234,40±8,20	736,00±19,10	341,40±11,95	1381,20±2,06	254,42±0,01	585,00±9,60	505,04±14,20
As	1,53±0,02	2,14±0,03	0,78±0,01	3,96±0,05	–	3,54±0,74	–	0,72±0,01
Cd	0,93±0,01	0,23±0,00	0,88±0,01	0,22±0,00	0,62±0,00	0,28±0,00	2,46±0,03	0,56±0,01
Cr	7,89±0,10	7,98±0,12	3,32±0,05	1,52±0,02	5,76±0,10	2,94±0,06	4,06±0,10	3,74±0,05
Ni	4,14±0,06	3,88±0,06	–	–	–	–	–	–
Pb	3,50±0,07	1,53±0,03	12,68±0,03	3,98±0,08	9,92±0,24	1,84±0,24	5,24±0,42	3,56±0,07
Sn	2,68±0,04	2,55±0,04	–	–	2,34±0,93	1,68±0,72	–	–
Sr	44,53±1,78	30,31±1,21	46,54±1,86	28,06±1,12	32,56±0,20	5,74±0,04	16,56±0,04	5,02±0,20
V	1,92±0,02	1,39±0,02	2,22±0,03	1,28±0,01	4,48±0,08	1,58±0,04	1,24±0,01	1,48±0,02
Ti	29,76±0,14	19,82±0,09	49,44±0,25	24,56±0,12	79,16±0,10	13,76±0,03	36,22±0,08	33,06±17,00
W	10,54±0,15	6,77±0,10	1,70±0,02	0,36±0,01	16,84±3,76	12,36±0,04	16,53±1,63	11,10±3,50
<b>Макроэлементы</b>								
K	2026,01±23,10	1855,00±16,62	4092,00±34,80	1469,00±13,22	1038,63±9,40	1352,82±8,56	1276,44±13,22	1162,20±6,80
Ca	36280,00±181,00	6142,00±24,21	39560,01±197,80	5226,00±26,13	41580,02±80,11	3954,00±20,05	41360,00±75,35	7262,05±12,06
Mg	6182,00±30,91	6683,00±33,40	1145,80±5,71	994,20±4,97	675,21±0,61	882,40±2,40	701,8±21,51	801,25±0,80
Na	100,30±0,51	99,35±0,49	83,54±0,41	44,92±0,23	26,48±0,32	17,90±0,12	24,98±0,83	24,43±0,14
<b>Микроэлементы</b>								
B	3,11±0,11	1,90±0,06	4,42±0,15	2,44±0,085	6,52±0,02	4,38±0,04	3,44±0,06	2,82±0,07
Ba	47,53±0,71	31,59±0,47	20,62±0,31	50,80±0,76	27,98±0,08	9,81±0,02	26,31±0,08	26,18±0,08
Cu	10,97±0,16	11,06±0,16	4,76±0,07	3,26±0,01	8,16±0,02	3,64±0,02	3,14±0,06	2,66±0,03
Fe	376,70±5,65	313,40±4,71	1075,80±16,13	326,00±4,89	2262,00±2,00	265,03±1,41	642,83±1,24	565,60±11,30
Li	0,32±0,01	0,26±0,01	3,42±0,05	0,84±0,01	0,86±0,00	–	–	–
Mn	387,30±7,74	381,60±7,62	274,00±5,48	282,40±5,65	84,04±0,36	105,34±1,56	816,04±4,20	594,80±23,76
Mo	0,16±0,01	0,17±0,00	0,12±0,00	0,16±0,00	0,24±0,04	0,08±0,06	0,12±0,09	–
Zn	53,67±2,15	36,70±1,46	200,80±8,03	94,28±3,77	113,22±0,08	73,92±0,24	211,80±0,23	192,02±7,68

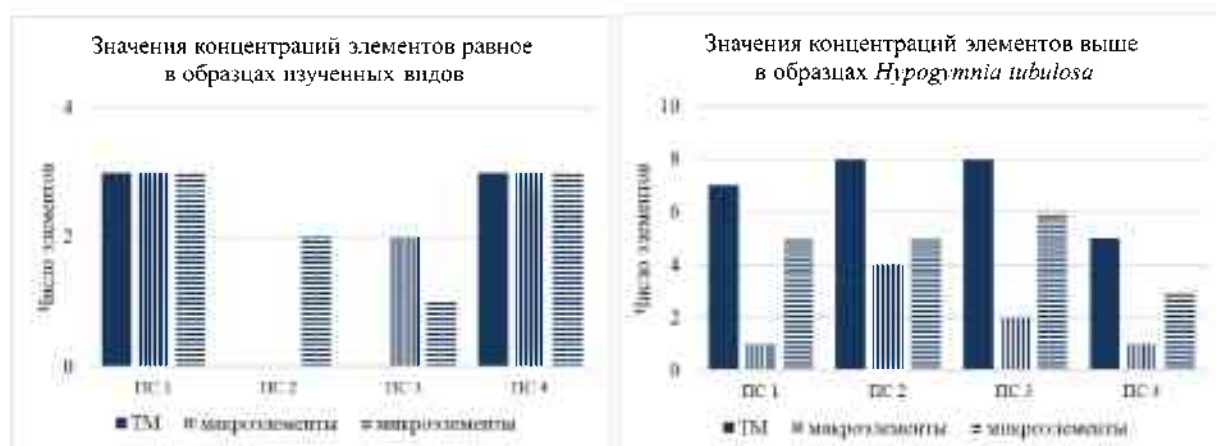


Рис. 1. Общее число элементов первой и второй групп в образцах видов *Hypogymnia* из разных пунктов Тверской области:

ПС 1–4 – пункты сбора материала (см. в тексте); ТМ – тяжелые металлы

Fig. 2. The whole number of elements (1 and 2 groups) in the lichen's species in the different sites in Tver Region:

ПС 1–4 – collection points (see in text); ТМ – heavy metals

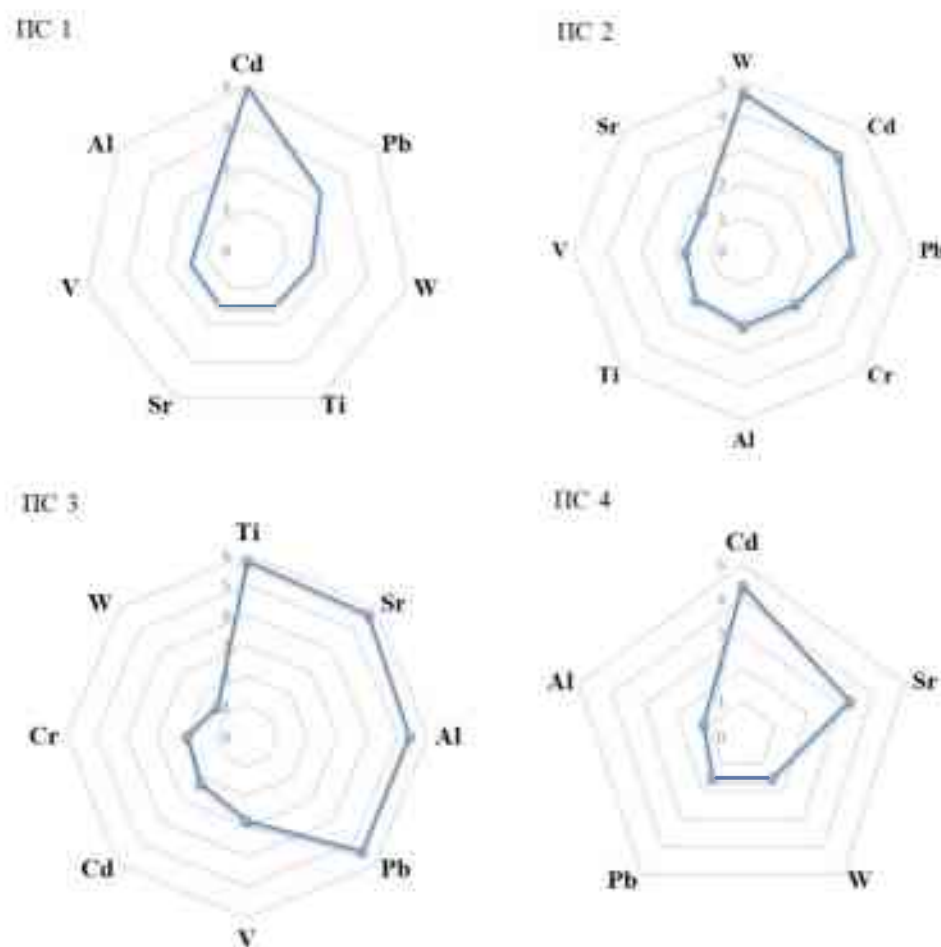


Рис. 2. Кратность превышения валового содержания некоторых тяжелых металлов в образцах *Hypogymnia tubulosa* в разных пунктах Тверской области:

ПС 1–4 – пункты сбора материала (см. в тексте)

Fig. 2. The exceeding multiplicity of the several heavy metals total content in the compared specimens in different sites in Tver Region: ПС 1–4 – collection points (see in text)

Высокую накопительную способность *H. tubulosa* проявляет, прежде всего, к кальцию (кратность превышения значений средних концентраций 6–7 раз). Значение средней концентрации кальция в образцах *H. tubulosa* составляет 39 695 мг/кг, в то время как в образцах *H. physodes* всего 5 646 мг/кг.

Талломы *H. tubulosa* активно поглощают ТМ – кадмий, свинец (кратность превышения 3–4 раза), алюминий, титан, сурьму (кратность превышения 2–2,9 раз).

Выявлено также более интенсивное поглощение некоторых микроэлементов. Среди них железо и литий (кратность превышения 2–2,9 раза) (см. рис. 2). В отношении других элементов отмечено умеренное накопление, при котором отмечается превышение их содержания у *H. tubulosa* не более чем в два раза. К таким металлам можно отнести вольфрам, ванадий, хром, цинк и бор.

## 2. Элементы, содержание которых сходно в образцах *H. tubulosa* и *H. physodes*.

По отношению к элементам этой группы проявляется сходная способность к накоплению у обоих видов (см. рис. 1). Содержание элементов примерно одинаковое, а кратность превышения значений средних концентраций варьирует в интервале от 0,8 до 1,1 раза. Эта группа также неоднородна и включает ТМ (например, Ni, Sn), макро- (например, K, Mg) и микроэлементы (например, Mn).

Общими элементами второй группы в образцах из большинства изученных пунктов являются калий, магний и марганец. Сопоставимую накопительную способность сравниваемые виды проявляют к никелю (*H. physodes* – 4,14 мг/кг; *H. tubulosa* – 3,88 мг/кг) и олову (*H. physodes* – 2,68 мг/кг; *H. tubulosa* – 2,55 мг/кг). Число элементов этой группы больше всего в образцах из национального парка Завидово и п. Жарковский (по 9 элементов в каждом образце). В образцах лишайников сравниваемых видов из окр. д. Полово и д. Бобровка общее число таких элементов значительно меньше.

## 3. Элементы, содержание которых меньше в образцах *H. tubulosa*, чем в образцах *H. physodes*.

Группа представлена единственным элементом – мышьяком. Этот металлоид талломы *H. tubulosa* накапливают слабо, и его содержание существенно ниже, чем в образцах *H. physodes*. В образцах *H. tubulosa* мышьяк обнаружен только в пунктах Калининского и Пеновского районов.

Таким образом, с помощью АЭС-ИСП-анализа в образцах *H. physodes* и *H. tubulosa* всего зарегистрировано 23 элемента. В их числе макро- (K, Ca, Mg, Na) и микроэлементы (B, Ba, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn), а также ТМ (Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sn, Sr, V, Ti, W). Уровень содержания выявленных элементов ниже фоновых значений, что указывает на благоприятную экологическую обстановку в изученных пунктах. Однако уровень содержания выявленных элементов у сравниваемых видов разный, что, вероятно, обусловлено различиями в накопительной способности.

Несмотря на систематическую близость сравниваемых видов накопительная способность по отношению к большинству элементов у *H. tubulosa* выше, чем у *H. physodes*. Особо следует отметить исключительно высокую накопительную способность *H. tubulosa* к кальцию. В слоевищах *H. tubulosa* обнаружено свыше 36 тыс. мг/кг. Вероятно, эту особенность можно рассматривать как видоспецифический признак. В талломе другого эпифитного лишайника *H. physodes* уровень концентрации кальция никогда не достигает таких высоких значений.

*H. tubulosa* проявляет более высокую накопительную способность к ТМ, в том числе и к токсичным (кадмий, свинец), которые являются типичными загрязнителями окружающей среды в городских условиях, а также к алюминию, титану, сурьме, железу и литию. В естественных природных экосистемах, где содержание этих элементов в окружающей среде не превышает фоновых значений, эта особенность не является лимитирующим фактором. Однако при наличии выраженного техногенного загрязнения активное по-

глощение токсичных элементов делает *H. tubulosa* весьма уязвимым видом. Однако *H. tubulosa*, по сравнению с *H. physodes*, слабо накапливает мышьяк.

Обнаруженные различия в поглощающей способности изученных видов сопряжены с разной степенью их устойчивости к антропогенному воздействию. Они определяют также и различную индикаторную способность *H. tubulosa* и *H. physodes*. Более высокая поглощающая способность *H. tubulosa* дает возможность эффективно выявлять многие элементы и ТМ при минимальных их концентрациях в компонентах среды. Это особенно актуально в ненарушенных природных сообществах, которые испытывают антропогенное воздействие некоторых в разной степени удаленных объектов промышленности и транспорта. Этот вид может быть интересен при организации биомониторинга на особо охраняемых природных территориях.

### Заключение

По результатам анализа элементного состава двух близкородственных видов рода *Hypogymnia* выявлена разная поглощающая способность, которая может быть одной из причин различной устойчивости к антропогенному воздействию и поступлению в среду экотоксикантов. Определены видоспецифические особенности по отношению к накоплению определенных элементов, в том числе и те, которые могут стать лимитирующим фактором при наличии выраженного техногенного загрязнения среды. Установлено, что накопительная способность неустойчивого в урбоэкосистемах вида *H. tubulosa* по отношению к кальцию, кадмию, свинцу, алюминию, титану, сурьме, железу и литию существенно выше, чем у *H. physodes*. Подобные различия определяют более высокую индикаторную значимость *H. tubulosa* в условиях низкого уровня загрязнения.

В целом полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшей разработки подхода, ориентированного на оценку индикаторной способности близкородственных видов лишайников. При этом важно учитывать различия поглощающей способности видов, выявлять дифференцирующие группы экотоксикантов. При дальнейших исследованиях в этом направлении могут быть интересны другие, более редко встречающиеся виды рода *Hypogymnia*, например, *H. vittata* (Ach.) Partique, а также некоторые крайне уязвимые представители семейства Parmeliaceae, например, *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal.

Сведения об элементном составе, полученные с помощью АЭС-ИСП-анализа, целесообразно дополнить данными об основных физиолого-биохимических параметрах (содержание хлорофилла *a* и *b*, фенольных соединений, общего азота, коэффициент феофетинизации, величина антирадикальной активности). Актуальна разработка основ сопряженного анализа физиологических характеристик и элементного состава. Результаты подобных исследований будут способствовать выявлению механизмов устойчивости видов и причин уязвимости. Они представляют интерес для биоиндикации и деятельности по сохранению биоразнообразия и стабильности природных экосистем.

### Список литературы

1. Бязров Л.Г., Пельгунова Л.А. 2015. Пространственное распределение концентраций ряда элементов в слоевищах лишайника *Xanthoria parietina* на присоединенной в 2012 году к Москве территории. Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем, 26 (1): 123–144.
2. Гимельбрант Д.Е., Кузнецова Е.С. 2009. Лишайники. В кн.: Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе Европейской части России. Т. 2. СПб.: 93–138.
3. Голубкина Н.А., Лапченко В.А., Лапченко Е.В., Науменко Т.С., Крайнюк Е.С., Багрикова Н.А. 2019. Фоновые уровни накопления тяжелых металлов, макро- и микроэлементов некоторыми видами лишайников на особо охраняемых природных территориях Южного и Юго-восточного побережья Крыма. *Бюллетень ГНБС*, 130: 26–35. DOI: 10.25684/NBG.boolt.130.2019.03.



4. Красная книга Московской области (издание третье, дополненное и переработанное). 2018. (Варлыгина Т.И., Зубакин В.А., Никитский Н.Б., Свиридов А.В., отв. ред.). М.О., ПФ «Верховье», 810 с.
5. Красная книга Тульской области: растения, грибы (официальное издание). 2010. (Щербаков А.В., ред.). Тула, Гриф и К, 393 с.
6. Ле Тхи Бич Нгует, Журавлева С.Е., Бондаренко П.В., Трухан Э.М. 2017. Влияние факторов окружающей среды на лишайник *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. Спектрометрические методы исследования. *Аналитика*, 4 (35): 58–62. DOI: 10.22184/2227-572X.2017.35.4.58.62.
7. Московиченко Д.В., Валеева Э.И. 2011. Содержание тяжелых металлов в лишайниках на севере Западной Сибири. *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*, 11: 162–172.
8. Скрипченко Л.С., Вахромеева А.А. 2014. Лихеноиндикация – состояние атмосферного воздуха Гусь-Хрустального района. В кн.: Актуальные проблемы экологии в XXI в. Труды Международной научной конференции (заочной). Владимир, Аркаим: 16–23.
9. Трифонова Т.А., Салмин А.С. 2019. Использование лишайника *Hypogymnia physodes* в качестве аккумулятивного биоиндикатора техногенного загрязнения атмосферы. *Юг России: экология, развитие*, 14 (2): 150–163. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-150-163.
10. Справочник промышленных предприятий Тверской области. 2018. Тверь, Министерство промышленности и торговли Тверской области, 374 с.
11. Gauslaa Y., Yemets O.A., Asplund J., Solhaug K.A. 2016. Carbon based secondary compounds do not provide protection against heavy metal road pollutants in epiphytic macrolichens. *Science of the Total Environment*, 541: 795–801. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.114.
12. Meysurova A.F., Khizhnyak S.D., Notov A.A., Pakhomov P.M. 2014. Biomonitoring of sulfur-containing pollutants in an urban atmosphere by FTIR spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy*, 81 (4): 654–659. DOI: 10.1007/s10812-014-9985-7.
13. Meysurova A.F., Notov A.A. 2016a. Physicochemical analysis of indicator lichens as a component of conservation area baseline monitoring. *Journal of Applied Spectroscopy*, 82 (6): 1005–1012. DOI: 10.1007/s10812-016-0219.
14. Meysurova A.F., Notov A.A. 2016b. Metal contents in lichens from nature reserves adjacent to urban ecosystems. *Journal of Applied Spectroscopy*, 83 (5): 832–839. DOI: 10.1007/s10812-016-0371-5.
15. Meysurova A.F., Notov A.A. 2020. Metal and metalloid contents in lichens from specially protected conservation areas. *Theoretical and Applied Ecology*, 3: 58–65. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-058-065.
16. Meysurova A.F., Notov A.A., Pungin A.V., Skrypnik L.N. 2020. Complex physico-chemical analysis of lichen *Hypogymnia physodes* in different phytocenoses. *Journal of Applied Spectroscopy*, 87 (5): 83–91. DOI: 10.1007/s10812-020-01084-1.
17. Parzych A., Zduńczyk A., Astel A. 2016. Epiphytic lichens as bioindicators of air pollution by heavy metals in an urban area (Northern Poland). *Journal of Elementology*, 21 (3): 781–795. DOI: 10.5601/jelem.2016.21.1.861.
18. Pungin A., Dedkov V. 2017. Assessment of air quality by lichen indication method in the central part of Kaliningrad. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 21 (2): 32–39.
19. Stojanović G., Zlatanović I., Zrnzević I., Stanković, M., Stankov Jovanović V., Zlatković B. 2018. *Hypogymnia tubulosa* extracts: chemical profile and biological activities. *Natural Product Research*, 32 (22): 2735–2739. DOI: 10.1080 / 14786419.2017.1375926.

## References

1. Byazrov L.G., Pelgunova L.A. 2015. Spatial distribution of concentrations of some elements in thalli of lichen *Xanthoria parietina* at the area merged with the Moscow City in 2012. *Problems of Environmental Monitoring and Ecosystem Modeling*, 26 (1): 123–144. (in Russian).
2. Himelbrant D.E., Kuznetsova E.S. 2009. Lichens. In: Survey of biologically valuable forests in North-West of the European Russia. Vol. 2. Identification manual of species to be used during survey at stand level (Andersson L., Alekseeva N.M., Kuznetsova E.S., eds.). Saint-Petersburg, Pobeda Publishing: 93–138. (in Russian).
3. Golubkina N.A., Lapchenko V.A., Lapchenko E.V., Naumenko T.S., Krajnyuk E.S., Bagrikova N.A. 2019. Background accumulation levels of heavy metals, macro- and trace elements by some lichen species of protected areas of the South and South-East coasts of the Crimea. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*, 130: 26–35. (in Russian). DOI: 10.25684/NBG.boolt.130.2019.03.

4. Red Data Book of the Moscow Region. 2018. 3<sup>rd</sup> edition, supplemented and revised (Varlygin T.I., Zubakin V.A., Nikitsky N.B., Sviridov A.V., resp. eds.). Moscow Region, PF "Verkhovye", 810 p. (in Russian).
5. Red Data Book of the Tula Region: Plants, Mushrooms (official publication). 2010. (Shcherbakov A.V., ed.). Tula, Grif and K, 393 p. (in Russian).
6. Le Tkhì Bich Nguyet, Zhuravleva S.E., Bondarenko P.V., Trukhan E.M. 2017. Influence of environmental factors on lichens *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. The investigation by spectroscopic methods. *Analitika*, 4 (35): 58–62. (in Russian). DOI: 10.22184/2227-572X.2017.35.4.58.62.
7. Moskovchenko D.V., Valeyeva E.I. 2011. Content of heavy metals in lichens of West Siberian north. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 11: 162–172. (in Russian).
8. Skripchenko L.S., Vakhromeyeva A.A. 2014. Lichenoindication – the state of atmospheric air in the Gus-Khrustalny district. In: Actual problems of ecology in the XXI century. Proceedings of the International Scientific Conference (correspondence). Vladimir, Arkaim: 16–23. (in Russian).
9. Trifonova T.A., Salmin A.S. 2019. Application of the *Hypogymnia physodes* lichen as an accumulative bioindicator of anthropogenic atmosphere pollution. *The South of Russia: ecology, development*, 14 (2): 150–163. (in Russian). DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-150-163.
10. Directory of industrial enterprises of the Tver region. 2018. Tver, Ministry of Industry and Trade of the Tver Region, 374 p. (in Russian).
11. Gauslaa Y., Yemets O.A., Asplund J., Solhaug K.A. 2016. Carbon based secondary compounds do not provide protection against heavy metal road pollutants in epiphytic macrolichens. *Science of the Total Environment*, 541: 795–801. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.114.
12. Meysurova A.F., Khizhnyak S.D., Notov A.A., Pakhomov P.M. 2014. Biomonitoring of sulfur-containing pollutants in an urban atmosphere by FTIR spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy*, 81 (4): 654–659. DOI: 10.1007/s10812-014-9985-7.
13. Meysurova A.F., Notov A.A. 2016a. Physicochemical analysis of indicator lichens as a component of conservation area baseline monitoring. *Journal of Applied Spectroscopy*, 82 (6): 1005–1012. DOI: 10.1007/s10812-016-0219.
14. Meysurova A.F., Notov A.A. 2016b. Metal contents in lichens from nature reserves adjacent to urban ecosystems. *Journal of Applied Spectroscopy*, 83 (5): 832–839. DOI: 10.1007/s10812-016-0371-5.
15. Meysurova A.F., Notov A.A. 2020. Metal and metalloid contents in lichens from specially protected conservation areas. *Theoretical and Applied Ecology*, 3: 58–65. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-058-065.
16. Meysurova A.F., Notov A.A., Pungin A.V., Skrypnik L.N. 2020. Complex physico-chemical analysis of lichen *Hypogymnia physodes* in different phytocenoses. *Journal of Applied Spectroscopy*, 87 (5): 83–91. DOI: 10.1007/s10812-020-01084-1.
17. Parzych A., Zduńczyk A., Astel A. 2016. Epiphytic lichens as bioindicators of air pollution by heavy metals in an urban area (Northern Poland). *Journal of Elementology*, 21 (3): 781–795. DOI: 10.5601/jelem.2016.21.1.861.
18. Pungin A., Dedkov V. 2017. Assessment of air quality by lichen indication method in the central part of Kaliningrad. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 21 (2): 32–39.
19. Stojanović G., Zlatanović I., Zmzević I., Stanković M., Stankov Jovanović V., Zlatković B. 2018. *Hypogymnia tubulosa* extracts: chemical profile and biological activities. *Natural Product Research*, 32 (22): 2735–2739. DOI: 10.1080 / 14786419.2017.1375926.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Мейсунова Александра Федоровна**, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой ботаники Тверского государственного университета, г. Тверь, Россия

**Нотов Александр Александрович**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры ботаники Тверского государственного университета, г. Тверь, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexandra F. Meysurova**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Botany of Tver State University, Tver, Russia

**Alexander A. Notov**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Botany of Tver State University, Tver, Russia