

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИШАЙНИКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ АНТАРКТИДЫ

В.П. Курченко, И.А. Багманян, В.Е. Мямин, О.И. Бородин*, Ю.Г. Гигиняк*

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

**Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический
центр НАН Беларуси по биоресурсам», Минск, Беларусь*

e-mail: kurchenko@tut.by



Багманян Ирина Александровна, магистрант научно-исследовательской лаборатории прикладных проблем биологии кафедры зоологии БГУ. Научные интересы связаны с изучением роли меланиновых пигментов лишайников в экстремальных условиях существования.



Гигиняк Юрий Григорьевич, кандидат биологических наук, сотрудник Государственного научно-производственного объединения «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам».

Научные интересы – экологическая физиология пресноводных и морских гидробионтов, факторная экология, энергетическая оценка водных животных. Основное направление исследований в настоящее время – «Экологическая обусловленность существования гидробионтов».



Мямин Владислав Евгеньевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии биологического факультета БГУ.

Научные интересы связаны с изучением микроорганизмов Антарктики.

Введение

Живые организмы Антарктики относят к экстремофилам, поскольку они способны выживать в условиях абиотических факторов внешней среды. В экстремальных условиях Антарктиды флора представлена преимущественно лишайниками. Анализ собранных коллекций в массиве Клеменс позволил выявить 7 видов мхов и 38 видов лишайников [1]. Научно-экспедиционным составом 5-й и 6-й Белорусских антарктических экспедиций в районе белорусской полевой базы «Гора Вечерняя» проведен сбор лишайников, которые были представлены 5 видами [2, 3].

Для Восточной Антарктиды и прибрежных районов характерны сильные стоковые ветра, достигающие скорости более 60 м/сек. Они являются переносчиками больших масс поллютантов. В этих условиях вся поверхность тела лишайника подвергается воздействию загрязнителей, находящихся в воздухе. Лишайники являются долгоживущими накопителями поллютантов, таких как тяжелые металлы, радионуклиды и др. [4]. Данные о видовом составе лишайников и их элементном составе могут использоваться для индикации загрязнения атмосферы различными химическими веществами [1; 4; 5; 6]. В районе проведения исследований базы «Гора Вечерняя» элементный состав лишайников не изучался. В связи с этим целью данной работы являлась оценка аккумуляции тяжелых металлов кустистыми и листоватыми лишайниками для выявления видов, которые могут быть использованы в качестве биоиндикаторов антропогенного загрязнения Антарктиды.

Методы исследования

Объектами исследования являлись листоватые *Xanthoria elegans*, *Physcia caesia*, *Umbilicaria* и кустистые лишайники *Usnea sphacelata*, *Pseudephebe pubescens*, собранные в 2014 году Белорусской антарктической экспедицией в районе полевой базы «Гора Вечерняя» (Восточная Антарктида, Земля Эндерби, холмы Тала, оазис Гора Вечерняя, 67°39' ю.ш., 46°09' в.д.). Определение видовой принадлежности лишайников в лабораторных условиях проводили по [3]. Образцы подвергали механическому измельчению и озолению при температуре 550°C в течение 5,5 часов. Элементный состав определяли с помощью рентгенофлуоресцентной спектрометрии на приборе ElvaX (США). Представлены результаты среднеарифметических измерений трех независимых определений алиментов.

Результаты и обсуждение

Лишайники отличаются незначительным накоплением минеральных веществ. Согласно литературным данным [2, 3], в среднем их зольность колеблется в пределах от 0,7 до 2-4% и различается у видов разных групп. Накипные лишайники отличаются большим содержанием золы (до 6-8%), а листоватые и кустистые — меньшим. В нашем исследовании зольность листоватых и кустистых лишайников Восточной Антарктиды достигала 18%, что свидетельствует о значительном накоплении ими металлов.

Элементный состав конкретного лишайника зависит от его видовой принадлежности, возраста, субстрата произрастания и условий обитания. Сравнительный элементный состав исследуемых лишайников приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в листоватых и кустистых лишайниках оазиса Гора Вечерняя, мкг/г сухого веса.

Элемент	Листоватые лишайники			Кустистые лишайники	
	<i>Xanthoria elegans</i>	<i>Physcia caesia</i>	<i>Umbilicaria africana</i>	<i>Pseudephebe pubescens</i>	<i>Usnea sphacelata</i>
Ca	37323,1	18699,4	3803,6	23164,0	30893,3
Si	20764,1	8226,5	1300,1	73778,3	3933,0
Al	11665,8	2890,7	466,3	35769,4	1470,4
Fe	1413,2	535,04	274,8	2007,0	385,2
Mg	3644,1	1627,7	751,7	2453,1	895,3
Mn	14,29	13,103	4,52	20,788	3,002
Cu	4,76	5,096	7,104	7,559	2,502
Zn	11,115	11,647	14,53	13,229	6,004
Pb	1,576	0,728	0,323	1,889	1,01
Rb	12,70	2,184	0,969	5,67	1,01
Sr	15,878	9,463	1,938	26,458	12,008
Y	1,59	0,728	0,3229	1,889	0,51
Zr	11,115	0,728	0,481	9,449	0,954
Ti	131,79	48,044	31,97	158,75	36,02

Анализ результатов представленных в таблице 1 показал, что для всех видов лишайников характерно высокое содержание Ca и Si. Меланиновые пигменты исследованных лишайников находятся в комплексе с хитином, который является неотъемлемым компонентом микобионта. Исследованные кустистые и листоватые лишайники отличаются жестким талломом, который формируется благодаря взаимодействию хитин-меланинового комплекса микобионта с Ca и другими элементами [5, 7, 8].

В накоплении металлов в трех видах листоватых лишайников наблюдаются значительные различия. Сравнение содержания элементов показало, что в *Xanthoria elegans* значительно больше, чем в *Physcia caesia* и *Umbilicaria africana*.: Si – 2,5 и 16 раз, Al – 4 и 25

раз, Fe – 2,6 и 5 раз, Mg – 2,2 и 4,8 раз, Mn – 1,1 и 3,2 раза, Pb – 2,2 и 4,9 раз, Rb – 5,8 и 13 раз, Sr – 1,68 и 8,2 раза, Y – 2,2 и 5 раз, Zr – 15,3 и 23 раза, Ti – 2,7 и 4,12 раз соответственно. Содержание Cu и Zn у этих видов имели близкие значения. Значительные видовые отличия в накоплении различных элементов исследованными листоватыми лишайниками позволяют использовать *Xanthoria elegans* в качестве индикаторного вида при оценке дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ.

Кустистый лишайник *Pseudephebe pubescens* накапливает различные элементы значительно больше, чем *Usnea sphacelata*: Al – 24,3 раза, Fe – 5,2 раза, Mg – 2,74 раза, Mn – 6,9 раз, Cu – 3,02 раз, Zn – 2,2 раза, Pb – 1,87 раз, Rb – 5,6 раз, Sr – 2,2 раза, Y – 3,7 раз, Zr – 9,9 раз, Ti – 4,4 раза. Эта видовая особенность *Pseudephebe pubescens* накапливать большие количества металлов позволяет использовать его в качестве индикаторного вида.

Значительные количества Al, Fe и Mg в исследованных лишайниках объясняется высоким содержанием этих элементов в субстрате произрастания - скальных породах. Для таких металлов, как Zn, Mn, Cu и Pb характерен удаленный перенос, зачастую связанный с антропогенным загрязнением [4, 5, 9]. Среди исследованных видов максимальное количество этих металлов накапливается в *Pseudephebe pubescens*. Установлено, что металлы накапливаются путем их поглощения всем телом лишайника, аккумулируясь в тканях. Поглощение металлов представляет собой пассивный процесс диффузии, за счет которого они выборочно абсорбируются лишайниками. Интересно отметить, что металлы оседают на внешней поверхности или внутри клеточных стенок грибного симбионта и иммобилизуются в нем, не влияя на водорослевый симбионт до тех пор, пока их концентрация не превышает пороговых значений. Накопление тяжелых металлов в лишайниках определяется их видовой принадлежностью и тесно связано со степенью загрязнения воздуха [7, 8, 9].

Механизм накопления элементов различными видами лишайников малоизучен. В связи с этим проведено исследование анатомического строения кустистых лишайников Антарктиды и определение относительного содержания ряда элементов в различных частях их таллома (таблица 2) [3].

Таблица 2 – Содержание химических элементов в анатомических зонах таллома кустистых лишайников Антарктиды *Usnea sphacelata* и *Pseudephebe pubescens*, массовый процент сухого вещества

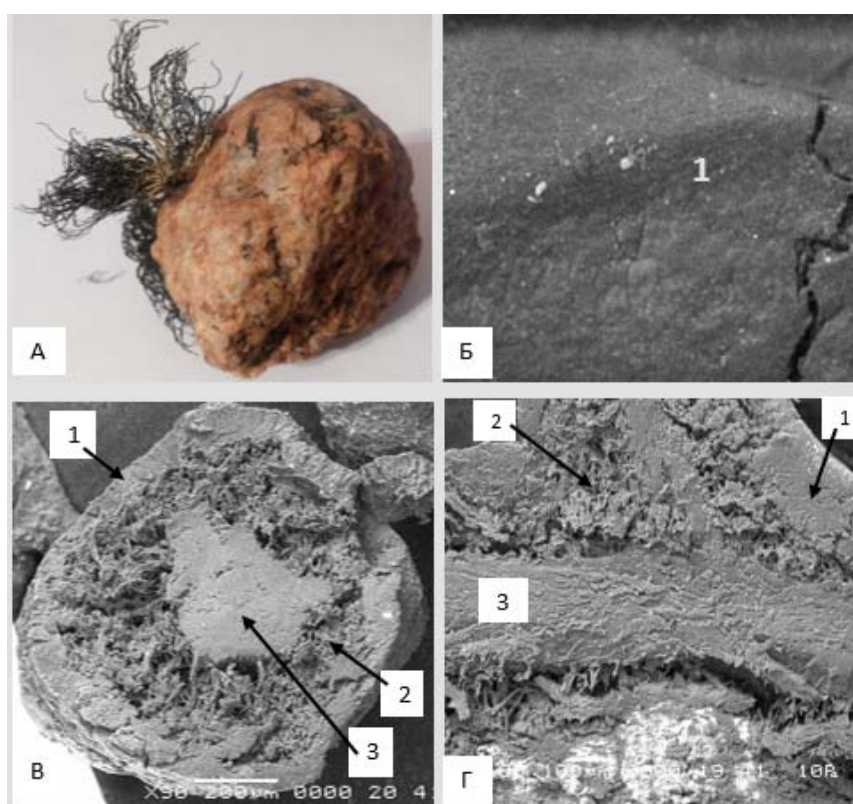
Элемент	<i>Usnea sphacelata</i> , нижняя светлая часть таллома	<i>Usnea sphacelata</i> , верхняя темная часть таллома	<i>Pseudephebe</i> <i>pubescens</i> , краевая поверхность таллома	<i>Pseudephebe</i> <i>pubescens</i> , центральная зона таллома
C	28.75	30.07	25.63	22.84
O	61.82	58.08	56.21	53.51
K	0.25	0.61	1.93	2.49
Si	0.08	5.65	3.62	6.37
Ca	0.03	0.77	0.58	0.69
Al	0.91	1.13	2.06	2.97
Fe	0.16	0.67	3.29	5.31
Zn	3.93	0.87	1.92	1.32
Mg	0.09	0.11	1.05	1.46
Cu	3.96	2.05	2.74	2.53

Анализ анатомического строения *Usnea sphacelata* показал, что он имеет радиальную структуру: снаружи их лопасти покрыты коровым слоем, под ним располагается водорослевый слой, или зона фикобионта, а центральная часть заполнена сердцевинной (рисунок 2 В и Г).

Коровой слой (рисунок 2 В 1 и 3 Г 1), через который происходит диффузия металлов, создает внешний каркас лишайника, состоящий из хитин-глюкан-меланинового комплекса

[6]. Кустистые лишайники Антарктиды отличаются жестким талломом, который формируется благодаря взаимодействию хитин-меланинового комплекса микобионта с Са и другими элементами (таблица 2). Он защищает фикобионт от экстремальных воздействий и поддерживает вертикальные лопасти кустистых слоевищ. Черный цвет корового слоя определяется высоким содержанием меланиновых пигментов, которые не только связывают металлы, но и служат защитой от УФ-облучения [4]. В связи с этим проведено исследование количества парамагнитных центров в меланинах кустистых лишайников *Usnea sphacelata* и *Pseudephebe pubescens*, которое составило соответственно $0,45 \times 10^{17}$, спин/г и $0,94 \times 10^{17}$, спин/г. Высокое содержание парамагнитных центров свидетельствует о большом количестве меланина в коровом слое, который задерживает более 90% УФ.

Зона фикобионта (рисунок 2 В 2 и 3 Г 2) выполняет функцию ассимиляции углекислоты и накопления органических веществ. **Сердцевина** (рисунок 2 В 3 и 3 Г 3) состоит из грибных гиф, которые осуществляют подведение воздуха к водорослевым клеткам для нормального осуществления процесса фотосинтеза.



А – внешний вид, Б – внешняя поверхность таллома, В – поперечный разрез ножки таллома, Г – продольный разрез ножки таллома, 1 – коровый слой; 2 – зона фикобионта; 3 – сердцевина [2]

Рисунок 1 – Анатомическое строение *Usnea sphacelata*

Необходимо отметить, что на глубине до 2-х микрон отдельные анатомические части слоевища лишайников имеют отличия в накоплении и распределении элементов в поверхностном слое таллома (таблица 2).

Анализ данных таблицы 2 показал отсутствие различий в накоплении биогенных элементов (С, О) анатомическими зонами талломов лишайников.

Необходимо отметить, что в частях таллома лишайников происходит накопление тяжелых металлов в различном количестве. Благодаря особенностям накопления тяжелых металлов различными видами лишайников они являются индикаторными организмами загрязнения окружающей среды.

Выводы

Установлено, что поступление металлов представляет собой процесс диффузии, за счет которого они выборочно абсорбируются мико- и фикобиотом [6]. Металлы оседают на внешней поверхности или внутри клеточных стенок грибного симбионта и иммобилизуются в нем, не влияя на водорослевый компонент до тех пор, пока их концентрация не превышает пороговых значений [6]. В качестве индикаторных видов загрязнения металлами могут использоваться листоватый лишайник *Xanthoria elegans* и кустистый лишайник *Pseudephebe pubescens*. Актуальным является дальнейшее исследование элементного состава этих лишайников в различных частях Антарктиды.

Список литературы

1. Андреев М.П., Курбатова Л.Е. Криптогамная флора массива Клеменс (ледник Ламберта, Континентальная Антарктика)//Труды БГУ –2014. – т. 9, ч. 2 – С. 49—57.
2. Гигиняк Ю.Г., Яцына А.П., Бородин О.И. Новые данные о лишайниках Земли Эндерби (Восточная Антарктида)// Доклады НАН РБ. – 2012. – Т. 56. - № 3. – С. 88–92.
3. Цуриков А.Г., Храмченкова О.М. Листоватые и кустистые городские лишайники: атлас-определитель: учебное пособие для студентов биологических специальностей вузов//Гомельский гос. ун-т им. Ф.Скорины. – 2009. – 123 с.
4. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Кутенков С.А., Виноградова А.А, Гордеев В.В., Демина Л.Л., Иванова Ю.А., Филиппов А.С. Содержание тяжелых металлов в кустистых эпифитных лишайниках Карелии как индикатор атмосферного переноса загрязняющих веществ // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 3. – С. 35–43.
5. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry. – 2003. – V. 3.– P. 1–64.
6. Феофилова Е.П. Ключевая роль хитина в образовании клеточной стенки грибов // Хитин и хитозан: получение, свойства и применение. – 2002. – С. 91–98.
7. Багманян И.А., Мямин В.Е., Гигиняк Ю.Г., Бородин О.И., Курченко В.П. Возможная роль меланинов в адаптации лишайников к экстремальным факторам Антарктиды)//Труды БГУ – 2014. – т. 9, ч. 2. – С. 82–89.
8. Анищенко Л.Н., Шапурко В.Н., Сафранкова Е.А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов растениями и лишайниками в условиях сочетанной антропогенной нагрузки//Фундаментальные исследования № 9, – 2014 – С. 1527–1531.
9. Shevchenko V. P., Pokrovsky O. S., Starodymova D. P., Vasyukova E. V., Drovnina S. I., Zamber N. S., Makhnovich N. M., Savvichev A. S., Sonke J. Geochemistry of Terricolous Lichens in the White Sea Catchment Area//Doklady earth sciences – 2013, – Vol. 450, Part 1. – P. 514–520.

**THE USE OF LICHENS FOR EVALUATION OF HEAVY METAL POLLUTION OF
DIFFERENT REGIONS OF ANTARCTICA**

V.P. Kurchenko, I.A. Bagmanyan, V.E. Myamin, O.I. Borodin*, Yu.G. Giginyak*

Belarusian State University, Minsk, Belarus

**State Scientific and Production Amalgamation "The Scientific And Practical Center For
Bioresources", Minsk, Belarus*

e-mail: kurchenko@tut.by

It was found that the flow of metal is a diffusion process through which metals are selectively absorbed by myco and fikobiont of lichens. Metals are deposited on the outer surface or within the cell walls of fungal symbionts and immobilized therein without affecting of algal component as long as the concentration does not exceed the threshold values. Foliose lichen *Xanthoria elegans* and bushy lichen *Pseudephebe pubescens* may be used as indicators of metal pollution. Further research of the elemental composition of lichens in different parts of Antarctica is actual.