



Лишайники: от молекул до экосистем

Международная конференция

1-5 июля 2024 г.

Республика Коми, Сыктывкар



Российская Академия Наук



Наши партнеры



ООО «Биолабмикс»



ООО «Газпром трансгаз Ухта»



ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»



Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми



Республиканский центр обеспечения функционирования особо охраняемых природных территорий и природопользования



Русское ботаническое общество



Общество физиологов растений России

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

Коми отделение Русского ботанического общества

Коми отделение Общества физиологов растений России

Лишайники: от молекул до экосистем

Материалы Международной конференции

1–5 июля 2024 г.

Республика Коми, Сыктывкар

Сыктывкар
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
2024

УДК 582.29:574.4(063)

ББК 589

Л 67

Редакционная коллегия:

д.б.н. Т.К. Головки (отв. ред.), к.б.н. Т.Н. Пыстина, И.А. Романова

Лишайники: от молекул до экосистем : материалы докладов Международной конференции (1-5 июля 2024 г., Сыктывкар). – Сыктывкар, 2024. – 130 с. (Электронное издание)

Л 67

ISBN 978-5-6050144-5-4

В сборнике представлены материалы докладов Международной конференции «Лишайники: от молекул до экосистем». Рассмотрены актуальные вопросы современной лишенологии. Представлены новые данные о таксономическом разнообразии и распространении лишайников, зональных и региональных особенностях лишенофлор, роли лишайников в растительных сообществах и экосистемах, структурно-функциональных механизмах адаптации к факторам внешней среды. Обсуждены вопросы создания электронных баз и оцифровки гербарных коллекций, ведения лишенологических разделов Красной книги, уделено внимание экопросветительской и образовательной деятельности.

Lichens: from molecules to ecosystems : International Conference Proceedings (July, 1-5, 2024, Syktyvkar). – Syktyvkar, 2024. – 130 p. (Electronic book)

The book contains the materials of the conference reports. Topical issues of current lichenology are considered. New data on the taxonomic diversity and distribution of lichens, zonal and regional features of lichenoflora, and the role of lichens in plant communities and ecosystems are presented. The structural and functional mechanisms of lichens adaptation to environmental factors were discussed. The issues on creating electronic databases and digitizing herbarium collections, and maintaining lichenological sections in the Red Books were considered. Attention was paid to educational activities in the field of lichenology.

Материалы опубликованы в авторской редакции

УДК 582.29:574.4(063)

ББК 589

ISBN 978-5-6050144-5-4 (Электронное издание)

DOI: 10.5281/zenodo.13284771

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 7 |
| Абдульманова С.Ю., Орехов П.Т. ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОСТА ЛИШАЙНИКОВ РОДА <i>CLADONIA</i> С СЕРЕДИНЫ XX В. НА ПОЛУОСТРОВЕ ЯМАЛ..... | 8 |
| Beckett R.P., Minibayeva F.V. ADAPTATIONS OF LICHENS TO FLUCTUATING LIGHT – GAPS IN THE FOREST, GAPS IN OUR KNOWLEDGE..... | 9 |
| Благовещенская Е.Ю., Гудкова Е.П., Мучник Е.Э. ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛИХЕНОБИОТЫ КАК СТАТИСТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ: АНАЛИЗ НА ПРИМЕРЕ ТРЕХ ООПТ | 11 |
| Валитова Ю.Н., Хабибрахманова В.Р., Бабаев В.М., Уваева В.Л., Хайруллина А.Ф., Рахматуллина Д.Ф., Галеева Е.И., Свид М.А., Минибаева Ф.В. РОЛЬ СТЕРИНОВ ЛИШАЙНИКА <i>PELTIGERA CANINA</i> В АДАПТАЦИИ К ТЕМПЕРАТУРНОМУ СТРЕССУ. 13 | |
| Василевич М.И., Семенова Н.А. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ ФОНОВЫХ И ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ..... | 15 |
| Виротайнен П.А., Чекунова Е.М. ИССЛЕДОВАНИЕ <i>IN SILICO</i> ФАКТОРОВ ТРАНСКРИПЦИИ СЕМЕЙСТВА <i>GATA</i> У ЛИШАЙНИКОВ <i>LOBARIA PULMONARIA</i> (L.) NOFFM. И <i>CLADONIA GRAYI</i> G. MERR. EXSANDST..... | 17 |
| Галеева Е.И., Валитова Ю.Н., Хабибрахманова В.Р., Гурьянов О.П., Уваева В.Л., Хайруллина А.Ф., Рахматуллина Д.Ф., Трифонова В., Викторова В., Минибаева Ф.В. АНТИОКСИДАНТНЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКА <i>PELTIGERA CANINA</i> НА ДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ..... | 19 |
| Герасименко Н.Л. УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ ПО ЛИХЕНОЛОГИИ НА ЭЛЕКТИВНЫХ ПРЕДМЕТАХ В 9-11 КЛАССАХ | 21 |
| Головко Т.К., Далькэ И.В., Захожий И.Г., Дымова О.В., Табаленкова Г.Н., Шелякин М.А., Малышев Р.В., Силина Е.В. ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОСИНТЕЗА И СОПРЯЖЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИШАЙНИКАХ | 23 |
| Голубков В.В., Цуриков А.Г., Белый П.Н., Болсун И.М. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СОЗОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА <i>USNEA FLORIDA</i> И <i>U. SUBFLORIDANA</i> В БЕЛАРУСИ | 25 |
| Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я., Тимонов А.С. ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ <i>HYPOGYMNIA PHYSODES</i> (L.) NYL..... | 27 |
| Домнина Е.А., Шабалкина С.В. ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ <i>LOBARIA PULMONARIA</i> НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «БУШКОВСКИЙ ЛЕС» (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)..... | 29 |
| Ермолаева О.Ю., Мучник Е.Э., Пауков А.Г. К ИЗУЧЕНИЮ ЛИХЕНОБИОТЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ | 31 |
| Жильцов Д.В., Бровко О.С., Боголицын К.Г., Бойцова Т.А., Ивахнов А.Д. ЛИШАЙНИКИ РОДА <i>USNEA</i> И <i>PELTIGERA</i> КАК ЦЕННЫЙ ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ | 33 |
| Жолобова Ж.О., Гимельбрант Д.Е., Степанчикова И.С., Родионова А.А., Зуева А.С. НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ ЛИХЕНОБИОТЫ ЗАКАЗНИКА «ЛИСИНСКИЙ» (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)..... | 34 |
| Загирова С.В., Мигловец М.Н., Пыстина Т.Н. ЛИХЕНОБИОТА И ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭКОСИСТЕМЕ КРУПНОБУГРИСТОГО БОЛОТА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ | 37 |

| | |
|--|----|
| Зуева А.С., Чесноков С.В., Конорева Л.А. ОБЗОР ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЛИХЕНОБИОТЫ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ | 39 |
| Исмаилов А.Б. ЭПИФИТНЫЕ ЛИШАЙНИКИ САМУРСКОГО ЛЕСА (ВОСТОЧНЫЙ КАВКАЗ): ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, РЕДКИЕ ВИДЫ..... | 41 |
| Кондакова Г.В. НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РЕДКИХ ВИДАХ ЛИШАЙНИКОВ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ..... | 42 |
| Косогова Т.М., Несторенко С.Н., Королецкая Л.В. МАСЛОВА В.Р. – ВЕДУЩИЙ ЛИХЕНОЛОГ ДОНБАССА | 44 |
| Курбатов А.А., Сони́на А.В. РОСТ ДИАМЕТРА ЭПИЛИТНОГО ЛИШАЙНИКА <i>PROTOPARMELIOPSIS MURALIS</i> (SCHREB.) M. CHOISY. В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ | 46 |
| Лаврская Е.А., Селиванов А.Е. <i>RUSAVSKIA SOREDIATA</i> КАК КОМПОНЕНТ ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА БЕРЕГОВЫХ СКАЛЬНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ДОЛИНЫ Р. ЧУСОВАЯ..... | 48 |
| Лексин И.Ю., Минибаева Ф.В. ТРАНСКРИПТОМНЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКА <i>LOBARIA PULMONARIA</i> НА ОБЕЗВОЖИВАНИЕ И РЕГИДРАТАЦИЮ..... | 49 |
| Лиханова И.А., Пыстина Т.Н., Железнова Г.В. ЛИШАЙНИКИ НА КАРЬЕРАХ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ..... | 51 |
| Лиштва А.В. ГРУППА «БАЗОВЫХ» ВИДОВ ВО ФЛОРЕ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ | 53 |
| Малышев Р.В., Захожий И.Г., Далькэ И.В. ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЛИХЕНОФЛОРЫ АНТАРКТИДЫ | 55 |
| Мейсурова А.Ф., Нотов А.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИОЛОГО- БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА <i>PARMELIACEAE</i> С РАЗНОЙ АНТРОПОТОЛЕРАНТНОСТЬЮ | 57 |
| Минибаева Ф.В. ПИГМЕНТЫ ЛИШАЙНИКОВ: «ЦВЕТНАЯ» СТРАТЕГИЯ СТРЕССОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ | 59 |
| Мучник Е.Э. КОМПЛЕКСНЫЙ СОЗОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ВЕДЕНИЯ ЛИХЕНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗДЕЛОВ КРАСНЫХ КНИГ | 61 |
| Мырзахан А.Д., Рахимова Е.В. НОВЫЙ ВИД ДЛЯ ЛИХЕНОБИОТЫ КАЗАХСТАНА <i>ACAROSPORA WAHLENBERGII</i> N. MAGN..... | 63 |
| Новоселова Е.А., Светашева Т.Ю., Мучник Е.Э. МОНИТОРИНГ ЛИШАЙНИКОВ КРАСНОЙ КНИГИ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ | 65 |
| Onele A.O., Swid M.A., Leksin I.Y., Valitova J.N., Khabibrakhmanova V.R., Khajrullina A.F., Rakhmatullina D.F., Galeeva E.I., Beckett R.P. and Minibayeva F.V. TEMPERATURE-INDUCED EXPRESSION OF SQUALENE EPOXIDASE (SQE1) GENE IN THE LICHEN <i>LOBARIA PULMONARIA</i> | 67 |
| Панькова В.В. О ЛИШАЙНИКЕ <i>ACAROSPORA SCHLEICHERI</i> (ACH.) MASSAL. В РОССИИ..... | 69 |
| Патова Е.Н., Шадрин Д.М., Новаковская И.В. ФОТОБИОНТ – <i>STIGONEMA</i> <i>LICHENOIDES</i> SP. NOV. (NOSTOCALES, CYANOBACTERIA) НОВЫЙ ВИД, ВЫДЕЛЕННЫЙ ИЗ ЛИШАЙНИКА <i>EPHEBE LANATA</i> | 70 |
| Пауков А.Г., Давыдов Е.А., Исмаилов А.Б., Мучник Е.Э., Урбанавичюс Г.П. НЕВЫЯВЛЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ НАКИПНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>CIRCINARIA</i> | 72 |

| | |
|--|-----|
| Пахучий В.В., Пахучая Л.М. ДЕВСТВЕННЫЙ ЛЕС РЕСПУБЛИКИ КОМИ: ПОРОДНЫЙ СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРА | 73 |
| Печенкина К.О., Селиванов А.Е. РОЛЬ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>UMBILICARIA</i> В ФОРМИРОВАНИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВЫХОДОВ ГОРНЫХ ПОРОД ЗАПОВЕДНИКА «ВИШЕРСКИЙ» | 76 |
| Полосухина Д.А., Прокушкин А.С. ФОТОСИНТЕЗ ДОМИНАНТНЫХ ВИДОВ СУБАРКТИЧЕСКИХ ЛИШАЙНИКОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЗОНЫ ОХВАТА СТАНЦИИ ВЫСОТНОЙ МАЧТЫ ZOTTO | 78 |
| Попова Г.Ю., Прусс Е.В., Сенатор С.А. ЛИШАЙНИКИ КАК ОБЪЕКТ ЭКОПРОСВЕТИТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАНЯТИЙ В ГБС РАН).... | 80 |
| Попова О.Ю., Пауков А.Г. ЛИТОФИЛЬНАЯ ЛИХЕНОБИОТА ХРЕБТА НУРАЛИ, ЮЖНЫЙ УРАЛ..... | 82 |
| Прохорова Н.Е., Мучник Е.Э. К ЭКОЛОГИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЮ РЕДКИХ И ОХРАНЯЕМЫХ ЛИШАЙНИКОВ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ | 85 |
| Пыстина Т.Н., Семенова Н.А. ЛИШАЙНИКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКАЗНИКА «ПАРАСЬКИНЫ ОЗЕРА» (РЕСПУБЛИКА КОМИ)..... | 87 |
| Рассабина А.Е., Хабибрахманова В.Р., Хайруллина А.Ф., Минибаева Ф.В. ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЕЛАНИНОВ ЛИШАЙНИКОВ | 89 |
| Резниченко В.В. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПЛАТО МАНЬПУПУНЁР | 91 |
| Свид М., Кулинченко М.В., Онеле А., Валитова Ю.Н., Минибаева Ф.В. ХАРАКТЕРИСТИКА И АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА СТЕРОЛ С-5 ДЕСАТУРАЗЫ В ЛИШАЙНИКЕ <i>PELTIGERA CANINA</i> В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА..... | 93 |
| Силина Е.В., Шелякин М.А. ПРО-/АНТИОКСИДАНТНЫЙ МЕТАБОЛИЗМ КОМПОНЕНТОВ ЛИШАЙНИКОВОГО СИМБИОЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УФ-В РАДИАЦИИ НА <i>PELTIGERA APHTHOSA</i> | 94 |
| Синичкин Е.А., Омельченко П.Н., Богданов Г.А. РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В КРАСНУЮ КНИГУ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ... | 96 |
| Слобода А.А., Бровко О.С., Жильцов Д.В., Бойцова Т.А., Пустынная М.А., Ивахнов А.Д. ВЫДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ ИЗ ЛИШАЙНИКА <i>HYROGYMNIA RHYSODES</i> | 99 |
| Тихановский А.Н. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛИШАЙНИКОВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ ЯМАЛЬСКОГО СЕВЕРА..... | 101 |
| Урбанавичене И.Н., Урбанавичюс Г.П. ОХРАНЯЕМЫЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ ИЗ НОВОГО ПЕРЕЧНЯ КРАСНОЙ КНИГИ РОССИИ В ЗАПОВЕДНИКЕ «УТРИШ» | 104 |
| Урбанавичюс Г.П., Урбанавичене И.Н. ШИРОКО РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ОХРАНЯЕМЫЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ В ЗАПОВЕДНИКАХ РОССИИ | 106 |
| Фролов И.В., Прокопьев И.А., Туманина П.Д. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА ЛИШАЙНИКОВ ПОРЯДКА <i>TELOSCHISTALES</i> ВДОЛЬ ДОЛГОТНОЙ ТРАНСЕКТЫ ЯКУТСК–МАГАДАН–КАМЧАТКА..... | 108 |
| Хайруллина А.Ф., Рахматуллина Д.Ф., Галеева Е.И., Хабибрахманова В.Р., Гурьянов О.П., Валитова Ю.Н., Минибаева Ф.В. ПИГМЕНТНЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКОВ РОДА <i>PELTIGERA</i> НА ДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ | 109 |
| Харпухаева Т.М. ЛИШАЙНИКИ ДОЛИНЫ РЕКИ ИКАТ (СЕВЕРНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ).. | 111 |

| | |
|--|-----|
| Холод С.С., Степанчикова И.С., Конорева Л.А., Чесноков С.В. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИШАЙНИКОВ В ЛАНДШАФТЕ ПОЛЯРНЫХ ПУСТЫНЬ АРХИПЕЛАГОВ ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА И НОВАЯ ЗЕМЛЯ | 113 |
| Cherepenina D.A. EPILHYTIC LICHEN COVER OF BIRCH AS AN INDICATOR OF NITROGEN POLLUTION IN PARK COMMUNITIES OF MOSCOW AND MOSCOW REGION | 115 |
| Шапошникова Л.М., Рачкова Н.Г., Гляд В.М., Пыстина Т.Н., Дьячкова Т.В., Богомолова Ю.М., Таранкова Е.В. ЛИШАЙНИКИ КАК ОБЪЕКТ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ | 117 |
| Шелякин М.А., Захожий И.Г., Малышев Р.В., Силина Е.В. ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИШАЙНИКА <i>PELTIGERA ARHTHOSA</i> И ИЗОЛИРОВАННОГО ФИКОБИОНТА ПРИ УФ-В СТРЕССЕ..... | 119 |
| Приложение А. РЕЗОЛЮЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЛИШАЙНИКИ: ОТ МОЛЕКУЛ ДО ЭКОСИСТЕМ» | 122 |
| Приложение Б. ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ..... | 124 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная конференция «Лишайники: от молекул до экосистем» (Сыктывкар, 1-5 июля 2024 г.) поставила своей целью объединение специалистов-лихенологов, изучающих эти древние и уникальные организмы. Сборник материалов докладов во многом отражает современное состояние и направления исследований, проводимых лихенологами России и сопредельных территорий с использованием методов и подходов классической и экспериментальной биологии.

Российская лихенология как раздел ботанической науки прошла долгий и успешный путь, снискав мировое признание. На начальных этапах основное внимание уделялось изучению флоры, систематики и морфологии лишайников. Вопросы таксономического разнообразия, географического распространения лишайников, зональные и региональные особенности лихенофлор по-прежнему актуальны. Судя по материалам докладов, основной акцент в настоящее время сделан на изучении видового состава как труднодоступных регионов, так недостаточно изученных районов центральной России. Большое внимание уделяется мониторингу лишайников, внесенных в Красные книги, а также выявлению нуждающихся в охране видов.

Трудно переоценить роль лишайников в растительных сообществах и экосистемах, особенно в регионах с экстремальными условиями обитания. Лишайниковый покров участвует в почвообразовании, влияет на развитие почвенной микрофауны, образование гумуса, в нем заключен значительный пул углерода и элементов минерального питания. Некоторые из этих вопросов нашли отражение в докладах конференции.

Успешно развиваются исследования в области экспериментальной биологии и экологии лишайников. В материалах сборника представлены данные о фотосинтезе, дыхании, метаболизме, синтезе вторичных веществ и ценных для человека биологически активных продуктов. Рассмотрены вопросы влияния природно-климатических и антропогенных факторов на жизнедеятельность лишайников, формирование структурно-функциональных защитных механизмов и участие в них геномов компонентов лишайниковой ассоциации.

Помимо перечисленных выше аспектов, подняты вопросы создания электронных баз и оцифровки гербарных коллекций, ведения лихенологических разделов Красной книги. Уделено внимание экопросветительской и образовательной деятельности.

В конференции приняли очное, онлайн и заочное участие 131 специалист из четырех стран (Россия, Беларусь, Казахстан, Сирия, ЮАР) и 50 организаций, представляющих крупные научные и образовательные центры. Заслушано 58 устных докладов, в том числе три пленарные лекции и шесть пленарных докладов, предваряющих работу секций. На заключительном заседании принята Резолюция, в которой изложены рекомендации конференции.

Сайт конференции: https://ib.komisc.ru/add/conf/lichens_conf_2024/

Т.К. Головкин, д.б.н., проф.
Т.Н. Пыстина, к.б.н., с.н.с.
С.В. Дегтева, д.б.н., чл.-корр. РАН

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОСТА ЛИШАЙНИКОВ РОДА CLADONIA С СЕРЕДИНЫ XX В. НА ПОЛУОСТРОВЕ ЯМАЛ

С.Ю. Абдулманова¹, П.Т. Орехов^{1,2}

Арктический научно-исследовательский стационар Института экологии растений
и животных Уральского отделения РАН, 629400, г. Лабытнанги, ул. Зеленая Горка, д. 21
АНО «Центр развития туризма на Полярном Урале», 629007, г. Салехард, ул. Республики, д. 41
e-mail: abdulmanova_su@ipae.uran.ru

CHANGES OF GROWTH RATE CLADONIA LICHENS SINCE THE MIDDLE OF THE XX CENTURE ON THE YAMAL PENINSULA

S.Y. Abdulmanova¹, P.T. Orekhov^{1,2}

Arctic research station of Institute of plant and animal ecology of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, 21 Zelenaya Gorka St., Labytnangi, 629400 Russia
Autonomous Non-Profit Organization «Center for Tourism Development in the Polar Urals»,
41 Republik St., Salekhard, 629007 Russia
e-mail: abdulmanova_su@ipae.uran.ru

В настоящее время тундровые сообщества полуострова Ямал находятся в сложных условиях существования – активное развитие частного оленеводства, промышленное освоение территории на фоне глобальных климатических изменений. Сочетание этих глобальных и региональных факторов влияет на состав и структуру растительного покрова и особенно его лишайникового компонента. На обширных территориях ЯНАО видовой состав лишайников свидетельствует об угнетенном состоянии напочвенного покрова [1]. Изменения касаются и объективного показателя – скорости роста живой части подстилки лишайников [2].

В настоящее время максимальные значения прироста основных кормовых видов лишайников – *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot, *C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg, *C. stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *C. Stygia* (Fr.) Ruoss в тундровой зоне полуострова Ямал соответствуют нижней границе варьирования скорости роста лишайников в тундровых сообществах Печерского севера, Большеземельской тундры, полуострова Ямал, Енисейского севера, севера Чукотки и Дальнего Востока в 30-80 годы XX века [3-5]. Скорость роста кустисто-разветвленных лишайников в середине XX века на фоне умеренного пастбищного использования была более 2 мм/год, и достигала 8 мм/год, кроме того закономерно уменьшалась с юга на север и в европейской, и в азиатской части России. В современных условиях существования растительных сообществ тундровой зоны Западной Сибири прирост кустисто-разветвленных лишайников минимален – 1.7-1.9 мм/год и не меняется при переходе от южных к арктическим тундрам.

В 30-50-е годы XX века, когда активно разрабатывали систему пастбищеоборота, скорость роста важных кормовых видов лишайников на полуострове Ямал достигала следующих значений: *C. arbuscula* – 4.1-6.7 мм/год; *C. rangiferina* – 4.7-8.1 мм/год; *C. stellaris* – 4.4-7.4 мм/год [3]. В 2013 г. прирост кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* на Ямале снизился и составлял у *C. arbuscula* – 1.7-1.8 мм/год, *C. rangiferina* – 1.7-1.9 мм/год, *C. stellaris* – 1.8 мм/год. Наибольшее изменение скорости роста за последние 60 лет произошло в южных субарктических тундрах – значения данного параметра снизились примерно в 2 раза, в арктических тундрах – примерно в 1.5 раза. В целом, на полуострове Ямал за 60-80 лет скорость роста каждого изученного вида снизилась больше, чем в 2 раза.

Основной причиной угнетенного состояния растительного покрова и лишайников современные исследователи считают интенсивные пастбищные нагрузки [1]. При этом в расчет совсем не принимают глобальные климатические изменения, которые максимально сильно проявляются в арктических регионах. Однако разделить эти два фактора, параллельно усиливающие свое влияние в последние десятилетия, крайне сложно.

Материалы подготовлены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № 122021000089-9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golovatin, M. G. Effect of reindeer overgrazing on vegetation and animals of tundra ecosystems of the Yamal peninsula / M. G. Golovatin, L. M. Morozova, S. N. Ektova // *Czech Polar Report*. – 2012. – Vol. 2, N 2. – P. 80–91.
2. Соковнина (Абдульманова), С. Ю. Прирост кормовых видов лишайников рода *Cladonia* (*Cladoniaceae*) на пастбищах домашнего северного оленя / С. Ю. Соковнина (Абдульманова), С. Н. Эктова // *Растительные ресурсы*. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 221–240.
3. Андреев, В. Н. Прирост кормовых лишайников и приемы его регулирования / В. Н. Андреев // *Труды. Сер. 3. Геоботаника / БИН АН СССР*. – 1954. – №. 9. – С. 11–74.
4. Щелкунова, Р. П. Прирост кормовых лишайников и их распространение на Енисейском Севере / Р. П. Щелкунова // *Ботанический журнал*. – 1979. – Т. 64, № 8. – С. 1111–1121.
5. Полежаев, А. Н. Особенности роста и распространения лишайников на оленьих пастбищах Чукотки / А. Н. Полежаев // *Биоморфология растений Дальнего Востока : сборник научных трудов*. – Владивосток, 1983. – С. 128–134.

ADAPTATIONS OF LICHENS TO FLUCTUATING LIGHT – GAPS IN THE FOREST, GAPS IN OUR KNOWLEDGE

R.P. Beckett, F.V. Minibayeva

School of Life Sciences, University of KwaZulu Natal,

PBag X01, Scottsville 3209, South Africa

e-mail: rpbeckett@gmail.com

The aim of this talk is to review the way that lichens adapt to environments in which ambient radiation changes rapidly over short periods of time. It is now increasingly recognized that even in uniform stands of crop plants, the lower leaves in the canopy will be subjected to fluctuating light. Furthermore, with climate change many areas are predicted to experience increased cloudiness, which will cause greater variations in light levels. Studying the ways in which lichens have adapted to these conditions may help us to optimize the photosynthetic performance of crop plants.

First, it is important to note that light will only be able to drive or inhibit photosynthesis when lichens are hydrated. Therefore, the «light environment» of a lichen at a particular moment is determined by the actual photosynthetically active radiation (PAR) and the thallus water status. Our first knowledge gap is that there is very little information available on how these parameters change throughout the day in lichens naturally subject to fluctuating light, e.g. those growing on the trunks of woodland trees. By contrast, there are some excellent studies in the literature documenting how photosynthesis and thallus water content vary diurnally in lichens growing in exposed, relatively high light habitats. However, it seems likely that lichens growing as epiphytes in woodlands will experience considerable short term (seconds to minutes) changes in light levels due to gaps in the canopy and diurnal variations in the angle of sunlight, and movements of the tree branches. The relatively brief periods that lichens are exposed to high light levels are known as “sunflecks”, and at these times lichens may receive more light than their photobionts can use in carbon fixation. Unless regulated, excess energy absorbed by the photobionts can convert ground state oxygen to reactive oxygen species (ROS). These ROS can attack the photosynthetic apparatus, causing photoinhibition and photo-oxidative stress, reducing the ability of the photobionts to fix carbon. However, for most of the time that shade lichens are metabolically active light levels will be generally low, and photosynthesis will not be saturated, i.e. they will be subject to low light stress. Furthermore, it seems probable that lichens that grow as epiphytes in woodlands will (often) be cooler, receive lower average light levels, and probably remain moister for longer periods of time.

Lichens in general probably use a variety of mechanisms to reduce the harmful effects of excessive radiation. Theoretically, damage could be repaired e.g. using the PSII repair cycle and chlorophagy, but these processes have not been studied in lichens. Second, once formed, harmful ROS could be scavenged using antioxidative enzymes such as ascorbate peroxidases, catalases and

superoxide dismutases, but again these enzymes have been poorly studied in lichen photobionts. A third strategy is avoidance of ROS formation in the first place. This strategy has received more attention, and appears to occur by the synthesis of light screening compounds in the upper cortex (e.g. melanins and parietin), non-photochemical quenching (NPQ) and cyclic or pseudocyclic electron flow. Even our understanding of «avoidance» strategies is poor. Thus, our second knowledge gap is to understand all of these mechanisms in more detail.

What then are the adaptations of lichen growing in fluctuating light? First, they will need tolerance to generally low light levels, and there is some evidence that they possess such adaptations e.g. higher chlorophyll levels. However, in general «shade adaptations» in lichens comprise a third knowledge gap. In addition they must be able to protect themselves against the sudden increases in light that occur during sunflecks. In other words, compared to photosynthetic organisms that grow predominantly in steady shade, they must display some adaptations normally associated with tolerance to high light. Recent data suggest that adaptation to fluctuating light involves high, rapidly inducing and relaxing NPQ, and higher cyclic and pseudocyclic electron flow [2, 3]. In contrast, cortical light screening pigments are not used as they will reduce efficiency when lichens under lower light. Ideally, lichens should be able to use some of this energy for carbon fixation, but this has not been studied. Further adaptations to fluctuating light in lichens surely await discovery.

It is particularly apparent for lichens growing under fluctuating light that light is clearly both a key environmental resource and also a potential source of stress. To successfully exploit their microhabitat, lichens need to balance the efficient use of light with the need to photoprotect themselves. While comparisons with higher plant data and the -omics disciplines will enable us to study these adaptations in more detail, it will remain important to remember that lichens are symbiotic organisms. The tolerance of the photobiont is inextricably bound to the life of the mycobiont, and they may well be found to possess unique adaptations to high light stress and fluctuating light. Nevertheless, it seems likely that studies on shade lichens will inform workers trying to improve the photosynthetic performance of higher plants.

REFERENCES

1. Photoprotection in lichens: adaptations of photobionts to high light / R.P. Beckett, F.V. Minibayeva, K.A. Solhaug, T. Roach // *Lichenologist*. – 2021. – Vol. 53. – P. 21–33.
2. Mkhize, K. G. W. Adaptions of photosynthesis in sun and shade in populations of some Afromontane lichens / K. G. W. Mkhize, F. V. Minibayeva, R. P. Beckett // *Lichenologist*. – 2022. – Vol. 54. – P. 319–329.
3. Alternative electron transport pathways contribute to tolerance to high light stress in lichenized algae / R. P. Beckett, T. Roach, F. V. Minibayeva, S. Werth // *Physiologia Plantarum* – 2023. – Vol. 175. – e13904.

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛИХЕНОБИОТЫ КАК СТАТИСТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ: АНАЛИЗ НА ПРИМЕРЕ ТРЕХ ООПТ

Е.Ю. Благовещенская¹, Е.П. Гудкова¹, Е.Э. Мучник²

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12*

² *Институт лесоведения Российской академии наук, 143030, Московская область,
г. Одинцово, с. Успенское, ул. Советская, 21
e-mail: kathryn@yandex.ru*

TAXONOMIC STRUCTURE OF LICHENOBIOTA AS A STATISTICAL DISTRIBUTION: ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF THREE PROTECTED AREAS

E.Yu. Blagoveshchenskaya¹, E.P. Gudkova¹, E.E. Muchnik²

¹ *Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Bldg. 12, Moscow, 119234 Russia*

² *Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, 21 Sovetskaya St., v. Uspenskoe,
Odyntsovo, Moscow region, 143030 Russia
e-mail: kathryn@yandex.ru*

В работах, посвященных лишенобиоте какой-то территории, первым результатом обычно является видовое богатство – число выявленных видов. Далее приводятся данные о таксономической структуре сообщества: ведущих родах, семействах и других таксонах. При сравнении регионов между собой в большинстве случаев также анализируется видовой состав – либо доля общих видов по отношению к числу видов в обобщенном списке (коэффициент Жаккара), либо доля общих видов по отношению к среднему числу видов (коэффициент Сьеренсена) [1]. Намного реже учитывается представленность видов в сообществе (коэффициенты Сьеренсена-Чекановского, Мориситы и др.), так как это требует проведения отдельных исследований [1]. Сравнение таксономического состава лишенобиоты обычно ограничивается обсуждением того, какие таксоны в каком из регионов более представлены, без каких-либо количественных показателей. Тем не менее, сам по себе таксономический состав может рассматриваться как статистическое распределение, где значением является таксон, а его частотой – например, число видов, относящихся к данному таксону. Данный подход дает дополнительные возможности и здесь мы хотим кратко представить возможные пути подобного анализа на примере рассмотрения лишенобиоты трех ООПТ Московского региона: 1) национальный парк «Лосиный остров» (ЛО), площадью 12881 га, часть которого находится на территории г. Москва, а часть – за пределами города; 2) заказник «Звенигородская биостанция МГУ и карьер “Сима”» (ЗБС), площадью 1116 га, расположенный на западе Московской области на правом берегу Москвы-реки; 3) Приокско-Террасный заповедник (ПТЗ), площадью 4945 га, расположенный на юге Московской области, на левом берегу реки Оки. По указанным территориям имеются пополняемые базы данных видовой состава лишенобиоты, основанные как на изучении фондовых материалов, так и на собственных исследованиях. Систематическое положение таксонов приведено согласно базе Index Fungorum.

На настоящий момент выявленное видовое богатство лишенобиоты составляет 148 видов для ЛО, 163 – для ПТЗ и 99 – для ЗБС. Наименьшее сходство показывают ЗБС и ПТЗ (табл.), что связано в основном с разницей в числе выявленных видов. Во всех ООПТ наиболее представленными родами являются *Cladonia* и *Lecanora*, самыми богатыми семействами – *Cladoniaceae*, *Lecanoraceae*, *Parmeliaceae* и *Physciaceae*, порядками – *Lecanorales* и *Caliciales*, хотя соотношение представленности этих таксонов различается. Тем не менее, при вычислении коэффициентов Сьеренсена-Чекановского с использованием в качестве показателя обилия число видов внутри таксона, мы увидим, что значения сходства повышаются по мере увеличения рангов рассматриваемых таксонов (табл.). Это отражает именно близость таксономической структуры сообществ, несмотря на различия непосредственно в видовом соста-

ве. Особенно это заметно при использовании коэффициента Мориситы, придающего больший вес доминантам – на уровне порядков значения сходства почти достигают 100 %.

Таблица

Сходство лишенобиоты различных ООПТ; K_S – коэффициент Сьеренсена, K_{Che} – коэффициент Сьеренсена-Чекановского, K_M – коэффициент Мориситы

| ООПТ | Сравнение видов | Сравнение родов | | Сравнение семейств | | Сравнение порядков | |
|-----------|-----------------|-----------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | K_S | K_{Che} | K_M | K_{Che} | K_M | K_{Che} | K_M |
| ПТЗ / ЛО | 0.65 | 0.74 | 0.86 | 0.81 | 0.94 | 0.87 | 0.99 |
| ЛО / ЗБС | 0.59 | 0.68 | 0.86 | 0.75 | 0.93 | 0.78 | 0.99 |
| ЗБС / ПТЗ | 0.48 | 0.60 | 0.72 | 0.68 | 0.87 | 0.72 | 0.99 |

Конечно, данные коэффициенты не позволяют судить, насколько подобное сходство может быть вызвано случайными причинами, т.е. какова статистическая достоверность полученных данных. Но как уже было отмечено выше, само по себе распределение таксонов можно рассматривать как статистическое распределение и анализировать соответствующими методами. Заметим, что если упорядочить таксоны по убыванию видового богатства, то зачастую данное распределение хорошо аппроксимируется геометрическим законом. Это одно из дискретных распределений, которое, к сожалению, в учебниках описывается редко [2], однако достаточно часто встречается в природных сообществах и отражает биоценозы с выраженным набором доминантов [3].

В нашем случае распределение родов имеет выраженный «хвост» из родов, представленных 1-2 видами, а кроме того, будет заметно зависеть от выбранной системы, в частности, данные Index Fungorum во многом не совпадают с таковыми в последней сводке лишайников и близких к ним грибов Фенноскандии [4]. Распределение порядков, с другой стороны, будет практически совпадать для всех ООПТ, поэтому для дальнейшего анализа мы остановились на уровне семейств. Если рассматривать семейства, представленные четырьмя и более видами, то для всех ООПТ критерий χ^2 не отвергает гипотезу о геометрическом характере распределения. Для ЗБС: $\chi^2 = 8.4 < \chi^2(0.05; 8) = 15.5$, для ЛО: $\chi^2 = 7.3 < \chi^2(0.05; 10) = 18.3$, для ПТЗ: $\chi^2 = 4.9 < \chi^2(0.05; 9) = 16.9$, в скобках указаны уровень значимости и число степеней свободы. Тот же самый критерий χ^2 позволяет не только проверять соответствие эмпирического распределения теоретическому, но и сравнивать два эмпирических распределения между собой [5]. Тем самым можно провести попарное сравнение таксономической структуры лишенобиоты различных ООПТ, снова ограничиваясь рассмотрением семейств, представленных несколькими видами. Например, мы провели анализ распределения видов по следующим восьми семействам: *Cladoniaceae*, *Coniocybaseae*, *Lecanoraceae*, *Parmeliaceae*, *Physciaceae*, *Ramalinaceae*, *Stereocaulaceae*, *Teloschistaceae*. Ни в одном из рассматриваемых вариантов значение статистики χ^2 не достигло критического значения $\chi^2(0.05; 7) = 14.1$. Следовательно, несмотря на имеющиеся отличия, данные территории в целом характеризуются сходными условиями как климата, так и растительных сообществ, что и обуславливает сходные характеристики таксономической структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миркин, Б. М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг, Л. Г. Наумова. – М : Наука, 1989. – 223 с.
2. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – М : URSS, 2009. – 328 с.
3. Magurran, A. E. Measuring biological diversity / A. E. Magurran. – Oxford : Blackwell Science, 2004. – 256 p.
4. Santesson's checklist of Fennoscandian lichen-forming and lichenicolous fungi / M. Westberg, R. Moberg, M. Myrdal, A. Nordin, S. Ekman. – Uppsala, 2021. – 933 p.
5. Урбах, В. Ю. Биометрические методы / В. Ю. Урбах. – М : Наука, 1964. – 416 с.

РОЛЬ СТЕРИНОВ ЛИШАЙНИКА *PELTIGERA CANINA* В АДАПТАЦИИ К ТЕМПЕРАТУРНОМУ СТРЕССУ

Ю.Н. Валитова¹, В.Р. Хабибрахманова¹, В.М. Бабаев², В.Л. Уваева¹, А.Ф. Хайруллина¹,
Д.Ф. Рахматуллина¹, Е.И. Галеева¹, М.А. Свид¹, Ф.В. Минибаева¹

¹ Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН,
420011, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

² Институт органической и физической химии имени А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН,
420088, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8
e-mail: yulavalitova@mail.ru

THE ROLE OF STEROLS OF THE LICHEN *PELTIGERA CANINA* IN ADAPTATION TO TEMPERATURE STRESS

J.N. Valitova¹, V.R. Khabibrakhmanova¹, V.M. Babaev², V.L. Uvaeva¹, A.F. Khairullina¹,
D.F. Rakhmatullina¹, E.I. Galeeva¹, M.A. Swid¹, F.V. Minibayeva¹

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, KSC, RAS, 2/31 Lobachevsky St., Kazan, 420011 Russia

² Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, KSC, RAS, 8 Arbuzov St., Kazan, 420088 Russia
e-mail: yulavalitova@mail.ru

В настоящее время особое внимание уделяется исследованию механизмов стрессовой устойчивости организмов-экстремофилов, способных выживать в экстремальных условиях. К таким организмам относятся лишайники, представляющие собой симбиотические ассоциации грибов и водорослей и/или цианобактерий. Высокая стрессовая устойчивость лишайников может быть обусловлена, кроме прочих факторов, уникальным стериновым составом, отличающимся от такового у грибов и водорослей. В настоящее время биохимические механизмы стрессовой устойчивости лишайников, опосредованные изменениями профиля стеринов, изучены недостаточно полно и не систематизированы. В связи с этим, актуальным является идентификация стеринов в лишайниках и выявление изменений в их профиле при действии стрессовых факторов. Понимание молекулярных и биохимических основ стрессовых ответов лишайников посредством регуляции метаболизма стеринов поможет более углубленно и детально разобраться в механизмах стрессовой устойчивости экстремофилов. Температурный стресс является достаточно привычным для лишайников, часто произрастающих в неблагоприятных условиях. Известно, что сухие талломы лишайников способны выдерживать изменения температур в больших диапазонах, тогда как гидратированные талломы гораздо более чувствительны к действию неблагоприятных температур. Пельтигеровые лишайники произрастают в умеренных широтах и, возможно, продемонстрируют выраженную реакцию к действию неблагоприятных температур. Известно, что эти лишайники отличаются высокими темпами роста и активным редокс-метаболизмом [1]. Эти факторы обусловили выбор лишайника *Peltigera canina* (L.) Willd. в качестве объекта исследования. Целью настоящего исследования было изучение изменений стеринового профиля пельтигерового лишайника *P. canina* при действии неблагоприятных температур. Фотобионтом лишайника является цианобактерия *Nostoc punctiforme*. *P. canina* является эпигейным лишайником, растет в довольно тенистых местах, встречается на почве по склонам канав и на обочинах дорог. Вид распространен в Европе, Азии, Северной и Южной Америке, Африке, Австралии [2].

В настоящей работе были исследованы стресс-индуцированные изменения дыхательной активности и индекса мембранной стабильности (ИМС), а также стеринового профиля гидратированных талломов лишайника *P. canina* при действии повышенной (+40°C) и пониженной (-20°C) температур. Было показано, что неблагоприятные температуры вызывали подавление интенсивности дыхания и снижение ИМС талломов лишайника. Наблюдаемые физиологические изменения свидетельствуют о стрессовом состоянии лишайника после термической обработки. По-видимому, *P. canina* более чувствительна к

действию повышенных температур, так как даже через 3 ч после воздействия дыхание остается подавленным. Однако, восстановление ИМС до контрольного уровня через 3 ч после действия обеих экстремальных температур может свидетельствовать об адаптивных процессах, происходящих в мембранах клеток талломов лишайника.

В настоящее время доминирующей гипотезой о сенсоре температурных колебаний в растениях является гипотеза об изменении текучести мембраны [3]. Предполагают, что плазматическая мембрана действует как первичный сенсор температурных колебаний [4]. Важным компонентом, влияющим на текучесть клеточных мембран, являются молекулы стероидов. Стабилизирующая способность молекулярных видов стероидов может различаться в зависимости от особенностей их химической структуры, в частности, от количества двойных связей, этильных и метильных групп в структуре молекулы стерина [5]. Хромато-масс-спектрометрический анализ показал наличие у лишайника *P. canina* эргостерина, дегидроэргостерина, эпистерина, лихестерина и фунгистерина. При действии обоих стрессовых факторов происходило снижение уровня эргостерина и увеличение доли эпистерина. В условиях холодного стресса также увеличивалась доля дегидроэргостерина, доля лихестерина снижалась, а относительное содержание более насыщенного стерина фунгистерина оставалось на контрольном уровне.

На основании полученных данных можно заключить, что лишайник *P. canina* проявляет большую чувствительность к повышению температуры, что выражается в значительном подавлении дыхательной активности и снижении стабильности мембран. Однако стероидный ответ более ярко выражен при действии на лишайник низкой отрицательной температуры, несмотря на более сдержанную физиологическую реакцию. Можно предположить, что при действии отрицательной температуры происходит замедление синтеза эргостерина и накопление его предшественников дегидроэргостерина и эпистерина. Дегидроэргостерин имеет 4 двойные связи, то есть он является самым ненасыщенным из вышеперечисленных стероидов и, по всей видимости, вносит свой вклад в увеличение проницаемости мембран таллома и соответственно увеличение их текучести. Возможно, стресс-индуцированные изменения стероидного профиля лишайника при холодной обработке создают оптимальный баланс стероидов в мембранах, который способствует разворачиванию успешной стратегии, ведущей к адаптации лишайника к действию стрессора.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-14-00362.

ЛИТЕРАТУРА

1. High rates of extracellular superoxide production by lichens in the suborder Peltigerineae correlate with indices of high metabolic activity / R. P. Beckett, F. V. Minibayeva, N. N. Vylegzhanina, T. Tolpysheva // Plant Cell Environ. – 2003. – Vol. 41. – P. 1827.
2. Горбач, Н. В. Лишайники Белоруссии. Определитель / Н. В. Горбач. – Минск : Наука и техника, 1973. – 77 с.
3. Гималов, Ф. Р. Восприятие растениями холодного сигнала, или как устроен растительный «термометр» / Ф. Р. Гималов // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2018. – С. 19. – <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-0-2-19-24>
4. Los, D. A. Regulatory role of membrane fluidity in gene expression and physiological functions / D. A. Los, K. S. Mironov, S. I. Allakhverdiev // Photosynthesis Research – 2013. – Vol. 116. – P. 489.
5. Popov, A. M. Comparative study of effects of various sterols and triterpenoids on permeability of model lipid membranes / A. M. Popov // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology – 2003. – Vol. 39. – P. 314.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ ФОНОВЫХ И ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

М.И. Василевич, Н.А. Семенова

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: mvasilevich@ib.komisc.ru*

CHEMICAL COMPOSITION OF EPIPHYTIC LICHENS OF BACKGROUND AND PROTECTED AREAS OF THE KOMI REPUBLIC

M.I. Vasilevich, N.A. Semenova

*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: mvasilevich@ib.komisc.ru*

В связи с запретом хозяйственной деятельности на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) основным видом техногенной нагрузки, влияющей на их природное состояние, является дальний перенос и атмосферное рассеивание техногенных ингредиентов. В последнее время все больше возрастает интерес к использованию лишеноиндикационного подхода в мониторинговых исследованиях качества атмосферы [1, 2].

Печоро-Илычский биосферный заповедник и национальный парк «Югыд ва» (НП «Югыд ва») достаточно удалены от источников загрязнения, промышленных центров и крупных населенных пунктов. Однако к югу от границ этих ООПТ расположены промышленные регионы – Пермский край, Свердловская и Кировская области. С другой стороны, Уральские меридиальные хребты служат естественным геохимическим барьером, задерживающим воздушные массы с запада, создавая зону интенсивной конденсации осадков, загрязненных поллютантами. Однако национальный парк «Койгородский» (НП «Койгородский»), расположенный на территории Прилузского и Койгородского административных районов Республики Коми, на границе с Кировской областью, находится вблизи значительно более населенной и промышленно освоенной территории.

Цель настоящей работы – исследование химического состава эпифитных лишайников на территории трех крупных ООПТ Республики Коми в связи с особенностями расположения резерватов и атмосферной циркуляции.

Исследования химического состава эпифитных лишайников проводили в 2014-2015 гг. и 2017-2024 гг. Отбор проб осуществлен непосредственно на территории ООПТ – национальные парки «Койгородский» и «Югыд ва», Печоро-Илычский биосферный заповедник, а также на территории юго-восточных районов Республики Коми (Корткеросского, Усть-Куломского, Троицко-Печорского и Вуктыльского), которые примыкают к природным резерватам. Подготовку проб, химический анализ образцов и обработку результатов проводили с использованием стандартных методов.

Выполнен химический анализ элементного состава эпифитных лишайников родов *Usnea* и *Bryoria*. В таблице приведены величины содержания химических элементов (в расчете на ед. сухой массы) в кустистых эпифитных лишайниках, собранных на ООПТ и юго-восточных районах региона, в сравнении с данными для Ленинградской обл. [1] и Республики Карелия [2].

Статистический анализ данных и анализ пространственного распределения на основе картографического моделирования выявили достоверные различия в накоплении элементов в лишайниках. Показано увеличение накопления цинка в лишайниках в направлении с запада на восток, что обусловлено аддитивным эффектом дальнего переноса веществ, почвенно-климатических особенностей и механического геохимического барьера, создаваемого Уральскими горами. Достоверный тренд увеличения содержания в лишайниках ртути с юга на север региона обусловлен глобальными геохимическими процессами. Наибольшее содержание

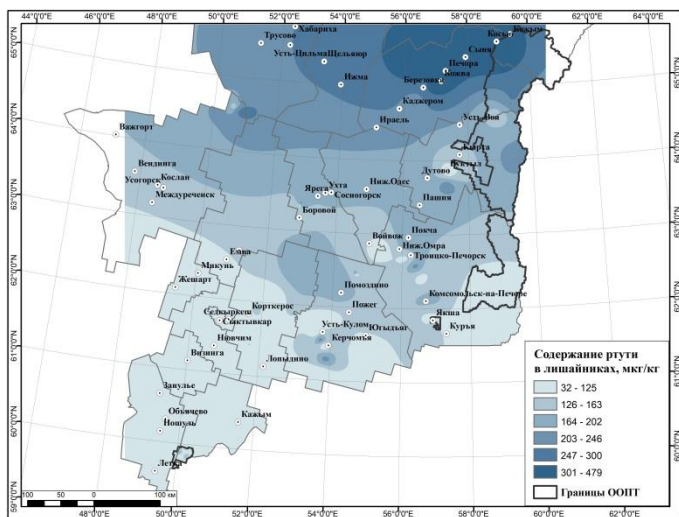
ртути выявлено на территории НП «Югыд ва» (рис.) [3]. Отмечен тренд уменьшения накопления кадмия в лишайниках с юга на север.

Таблица

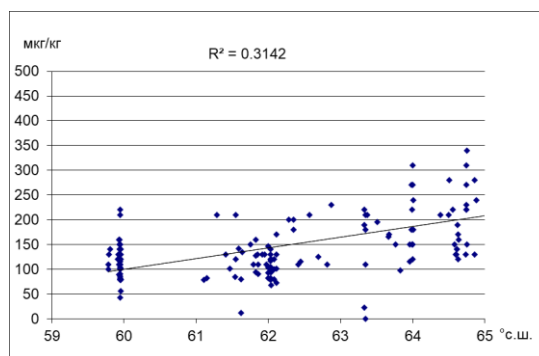
Содержание химических элементов в эпифитных лишайниках

| Элемент | Юго-восточные районы РК | НП «Койгородский» | НП «Югыд ва» | Печоро-Ильчский заповедник | Ленинградская обл. | Карелия |
|------------|-------------------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------|-------------|
| Cu, мг/кг | 1.93±0.26 | 1.78±0.25 | 1.82±0.32 | 1.88±0.24 | 1.83 | 3.3±1.9 |
| Pb, мг/кг | 2.74±0.52 | 2.56±0.73 | 3.00±0.92 | 2.48±0.44 | 1.99 | 1.27±0.97 |
| Cd, мг/кг | 0.20±0.06 | 0.22±0.08 | 0.15±0.05 | 0.28±0.05 | 0.11 | 0.055±0.035 |
| Zn, мг/кг | 44.8±7.5 | 46.8±11.4 | 57.7±9.9 | 59.5±13.4 | 24.6 | 62.8±85.3 |
| Ni, мг/кг | 1.79±0.64 | 1.30±0.50 | 1.03±0.30 | 1.64±0.57 | 0.62 | 1.7±0.7 |
| Co, мг/кг | 0.23±0.05 | 0.17±0.07 | 0.13±0.07 | 0.12±0.02 | - | 0.13±0.1 |
| Mn, мг/кг | 238±115 | 272±125 | 350±139 | 203±70 | 368 | 88.2±50.6 |
| Fe, мг/кг | 138±47 | 154±45 | 93±20 | 106±19 | 65.8 | 245±239 |
| Al, мг/кг | 138±53 | 181±52 | 119±24 | 113±8 | - | 243±185 |
| Cr, мг/кг | 2.68±1.14 | 1.42±0.90 | 0.94±0.23 | 1.82±0.73 | - | - |
| Hg, мкг/кг | 138±36 | 118±40 | 200±62 | 105±23 | - | - |

Примечание: среднеарифметическое значение выборки и стандартное отклонение среднего.



А



Б

Рис. Карта-схема содержания ртути в эпифитных лишайниках, мкг/кг (А) и экспоненциальная зависимость содержания ртути в лишайниках от географической широты (Б)

Согласно данным о накоплении металлов эпифитными лишайниками на основе расчета коэффициентов обогащения наиболее благоприятный геохимический фон выявлен в НП «Койгородский», в то время как наибольшее накопление элементов в лишайниках отмечено в НП «Югыд ва».

Применение траекторного подхода позволило выделить регионы-источники поступления воздушных масс, потенциально обуславливающие состав атмосферы и влияющие на накопление элементов в лишайниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катаева, М. Н. Накопление тяжелых металлов в эпифитных лишайниках ельника подзоны средней тайги / М. Н. Катаева, А. И. Беляева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 7. – С. 17–21.
2. Содержание тяжелых металлов в кустистых эпифитных лишайниках Карелии как индикатор атмосферного переноса загрязняющих веществ / В. П. Шевченко, Д. П. Стародымова, С. А. Кутенков, А. А. Виноградова, В. В. Гордеев, Л. Л. Демина, Ю. А. Иванова, А. С. Филиппов // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/97-4692>.
3. «What are the toxicological effects of mercury in Arctic biota?» / R. Dietz, C. Sonne, N. Basu et al. // Science of the Total Environment. – 2013. – Vol. 443. – P. 775–790.

ИССЛЕДОВАНИЕ *IN SILICO* ФАКТОРОВ ТРАНСКРИПЦИИ СЕМЕЙСТВА GATA У ЛИШАЙНИКОВ *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM. И *CLADONIA GRAYI* G. MERR. EXSANDST.

П.А. Виролайнен, Е.М. Чекунова

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9
e-mail: st085618@student.spbu.ru

IN SILICO RESEARCH OF GATA FAMILY TRANSCRIPTION FACTORS IN LICHENS *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM. AND *CLADONIA GRAYI* G. MERR. EX SANDST.

P.A. Virolainen, E.M. Chekunova

St. Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034 Russia
e-mail: st085618@student.spbu.ru

Симбиотические отношения между водорослями и грибами широко распространены в природе. Складывающиеся в определённых экологических условиях, они способствовали эволюции как отдельных видов, их ассоциаций, так и целых экосистем. Способность к симбиозу филогенетически широко распространена – например, клетки свободноживущей микроводоросли *Chlamydomonas reinhardtii* P.A. Dang. могут формировать симбиотические ассоциации с клетками дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Meyenex E.C. Hansen и некоторыми видами нитчатых грибов в средах с ограниченно доступными источниками углерода и азота [1].

Наиболее известным примером симбиоза водорослей и грибов является лишайник – мутуалистическая система, в которой фотобионт и микобионт взаимно сосуществуют и обмениваются продуктами метаболизма. Геномы лишенизированных грибов и водорослей обладают адаптациями, способствующими формированию симбиотических систем [2]. Центральную роль в функционировании таких ассоциаций играет координация циркадных ритмов организмов-партнёров – совокупности регуляторов биохимических и физиологических процессов, позволяющей организмам воспринимать различные сигналы друг друга и окружающей среды и реагировать на них [3]. В регуляции процессов, индуцируемых светом, а также метаболических путей азота и углерода участвуют факторы транскрипции (ФТ) семейства GATA – консервативные белки с цинк-пальцевым доменом, впервые появившиеся у эукариот. ФТ GATA функционально охарактеризованы и классифицированы у нескольких модельных организмов разных таксономических групп. Изучение ФТ GATA лишайников позволит понять генетическую природу процессов, лежащих в основе формирования, синхронизации и адаптации симбиотических ассоциаций – взаимодействий в системах организм-организм и организм-окружающая среда.

Цель исследования – изучить строение цинк-пальцевого домена факторов транскрипции семейства GATA у компонентов лишайниковой ассоциации в сравнении со свободноживущими грибами и водорослями, бриофитами и цветковыми растениями.

Объекты исследования. Для предварительного *in silico* исследования ФТ GATA лишайников были выбраны виды *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. (фотобионт *Symbiochloris reticulata* (Tschermak-Woess) Škaloud, Friedl, A. Beck & Dal Grande) и *Cladonia grayi* G. Merr. ex Sandst. (фотобионт *Asterochloris glomerata* (Warén) Škaloud & Peksa), так как геномы микобионта и фотобионта обоих видов полностью секвенированы, проаннотированы и доступны для анализа.

Материалы и методы исследования. Аминокислотные последовательности ФТ GATA фотобионтов и микобионтов лишайников *L. pulmonaria* и *C. grayi*, цветкового растения *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., бриофитов *Marchantia polymorpha* L. и *Physcomitrella patens* (Hedw.) Bruch & Schimp., харофитовой водоросли *Chara braunii* S.G. Gmel., хлорофитовой водоросли *Clamodomonas reinhardtii*, грибов *Sacharomyces cerevisiae*, *Aspergillus oryzae* (Ahlburg) E. Cohn и *Neurospora crassa* Shear & B.O. Dodge, человека были взяты из баз данных Phytozomev13, PhycoCosm, MycoCosm, избранных датасетов [4, 5] и проанализированы с использованием веб-инструментов InterPro и HMMER для подтверждения наличия цинк-пальцевого домена GATA-типа. Аминокислотные последовательности цинк-пальцевых доменов были выравнены с применением алгоритма ClustalW, филогенетические деревья построены в программе MEGA11 с помощью метода присоединения соседей (10000 бутстрэп повторностей; эволюционные расстояния рассчитаны методом р-расстояний).

Результаты исследования. Микобионты *L. pulmonaria* и *C. grayi* содержат шесть и семь ФТ GATA, соответственно. Филогенетический анализ аминокислотных последовательностей цинк-пальцевых доменов ФТ GATA изученных лишайнизированных грибов позволяет отнести их к семи описанным и функционально охарактеризованным подгруппам ФТ GATA грибов: WC1 и WC2 (регуляция экспрессии генов, участвующих в ответе на свет), NSDD и SRP (регуляция экспрессии генов, участвующих в процессах размножения и биосинтеза вторичных метаболитов), NIT2 и ASD4 (регуляция экспрессии генов, участвующих в метаболизме азота), SFH1 (ремоделирование хроматина). Вероятно, сохранение структуры и функций ФТ GATA свободноживущих грибов у лишайнизированных видов связано с тем, что в составе лишайника гриб является средообразующим компонентом для водоросли.

Фотобионты *S. reticulata* и *A. glomerata* содержат по 12 ФТ GATA. Аминокислотные последовательности цинк-пальцевых доменов ФТ GATA изученных симбиотических водорослей на сравнительных филогенетических деревьях в основном кластеризуются с тремя классами ФТ GATA свободноживущей хлорофитовой водоросли *C. reinhardtii* [5], либо формируют отдельные кластеры, либо гомологичны ФТ GATA грибов. Возможно, в ходе эволюции ФТ GATA этих водорослей приобрели уникальную структуру и функции, способствующие предрасположенности к симбиозу с грибами.

Заключение. Предварительный *in silico* анализ ФТ GATA лишайнизированных грибов и водорослей позволил обнаружить с одной стороны сохранение структуры и функций ФТ GATA у микобионтов, с другой – приобретение уникальных характеристик ФТ GATA у фотобионтов, отличающих их от свободноживущих фотосинтезирующих организмов. Экспериментальные исследования взаимодействия и координации циркадных систем мико- и фотобионтов могут пролить свет на молекулярные и генетические механизмы, лежащие в основе формирования, функционирования и эволюции лишайников и других симбиотических ассоциаций водорослей и грибов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hom, E. F. Y. Niche engineering demonstrates a latent capacity for fungal-algal mutualism / E. F. Y. Hom, A. W. Murray // Science. – 2014. – Vol. 345, N 6192. – P. 94–98.
2. Puginier, C. Plant–microbe interactions that have impacted plant terrestrializations / C. Puginier, J. Keller, P. M. Delaux // Plant Physiology. – 2022. – Vol. 190, N 1. – P. 72–84.
3. Identification and expression of functionally conserved circadian clock genes in lichen-forming fungi / H. F. Valim, F. D. Grande, J. Otte, G. Singh, D. Merges, I. Schmitt // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, N 1.

4. Schwechheimer, C. Plant GATA factors: their biology, phylogeny, and phylogenomics / C. Schwechheimer, P. M. Schröder, C. E. Blaby-Haas // Annual review of plant biology. – 2022. – Vol. 73. – P. 123–148.

5. Virolainen, P. A. GATA family transcription factors in alga *Chlamydomonas reinhardtii* / P. A. Virolainen, E. M. Chekunova // Current Genetics. – 2024. – Vol. 70, N 1.

АНТИОКСИДАНТНЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКА *PELTIGERA CANINA* НА ДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Е.И. Галеева, Ю.Н. Валитова, В.Р. Хабибрахманова, О.П. Гурьянов, В.Л. Уваева,
А.Ф. Хайруллина, Д.Ф. Рахматуллина, Т.В. Трифонова, Л.В. Викторова, Ф.В. Минибаева**
*Казанский институт биохимии и биофизики Федерального исследовательского центра
Казанского научного центра РАН, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31
e-mail: kgu@mail.ru*

ANTIOXIDANT RESPONSE OF THE LICHEN *PELTIGERA CANINA* TO ELEVATED TEMPERATURE

**E.I. Galeeva, J.N. Valitova, V.R. Khabibrakhmanova, O.P. Guryanov, V.L. Uvaeva,
A.F. Khairullina, D.F. Rakhmatullina, T.V. Trifonova, L.V. Victorova, F.V. Minibayeva**
*Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics of Kazan Science Centre
of the Russian Academy of Science, 2/31 Lobachevsky St., Kazan, 420111 Russia
e-mail: kgu@mail.ru*

Растения-экстремофилы вызывают живой интерес исследователей уже в течение многих лет. К ним относятся и лишайники, представляющие собой симбиотические ассоциации между грибами (микобионтами) и водорослями и/или цианобактериями (фотобионтами). Температурный стресс является достаточно обычным явлением для лишайников, произрастающих в неблагоприятных условиях, причем в высушенном состоянии большинство лишайников чрезвычайно устойчивы к повышенной температуре, тогда как гидратированные талломы обладают значительно большей чувствительностью [1]. Пельтигеровые лишайники обитают в умеренном климате, и можно предположить, что они обладают повышенной чувствительностью к перепадам температур. К тому же, для них характерны высокие темпы роста и индексы метаболической активности. Одним из известных представителей пельтигеровых является эпигейный двухкомпонентный цианолишайник *Peltigera canina*, который был выбран в качестве объекта исследований.

Известно, что важной составляющей стрессового ответа живого организма на воздействие абиотических стрессовых факторов является увеличение образования активных форм кислорода (АФК) и развитие окислительного стресса, который сопровождается перекисным окислением липидов и повреждением клеточных мембран. В настоящей работе были изучены стресс-индуцированные изменения редокс-статуса лишайника *P. canina*, а также изменения его липидного состава при действии повышенной температуры.

Показано, что воздействие неблагоприятной температуры на гидратированные талломы лишайника приводило к увеличению содержания перекиси водорода, фенолоксидазной активности, а также повышению уровня перекисного окисления липидов, что является важной составляющей стрессового ответа лишайника. Для живых организмов характерны две принципиальные стратегии, которые обеспечивают защиту от окислительного повреждения, причем они действуют независимо или совместно [2]. Первая включает изменение молекулярного состава мембран, что влечет за собой изменение проницаемости и, соответственно, доступности клеточных компонентов для токсичных продуктов, вторая основана на активации систем, обеспечивающих химическую детоксикацию АФК и свободных органических радикалов. Стресс-индуцированное изменение редокс-статуса талломов лишайника стимулировало увеличение содержания антиоксидантных агентов липофильной природы: резко

возрастал уровень α -токоферола, увеличивалось содержание каротиноидов, в частности β -каротина. Известно, что токоферолы тормозят перекисное окисление липидов, снижают проницаемость мембран, а также связывают свободные жирные кислоты, избыток которых дестабилизирует мембранную структуру [3]. Важным участником неферментативной антиоксидантной системы являются также каротиноиды, которые способны утилизировать свободные радикалы. Каротиноиды принимают участие в защите клеточных структур от фотодеструкции, а также могут взаимодействовать с органическими радикалами жирных кислот, действуя как ловушки [4]. Каротиноиды и токоферолы проявляют как синергизм в защите липидов от повреждающего действия свободных радикалов, так и отдельно токоферол может защищать каротиноиды от окисления, взаимодействуя с их радикалами [5].

Таким образом, при действии повышенной температуры на талломы лишайника *P. canina* наблюдается изменение редокс-статуса клеток талломов и развитие окислительного стресса, который приводит к активизации неферментативной антиоксидантной системы лишайника, в частности происходит увеличение содержания низкомолекулярных антиоксидантов липофильной природы, что является липид-опосредованным стрессовым ответом лишайника на действие повышенной температуры.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-14-00362.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beckett, R. P. Stress physiology and the symbiosis / R. P. Beckett, I. Kranner, F. V. Minibayeva // Lichen biology / ed. T. H. Nash III. – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – P. 134–151.
2. Gunning, J. R. Mechanisms of metal tolerance in plants: physiological adaptations for exclusion of metal ions from the cytoplasm / J. R. Gunning, G. J. Taylor // Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms / eds. R. G. Alcher, J. R. Gunning. – New York : Wiley-Liss. – 1990. – P. 329–356.
3. Wang, X. Vitamin E and its function in membranes / X. Wang, P. J. Quinn // Progress in Lipid Research. – 1999. – Vol. 38, N 4. – P. 309–336.
4. Palozza, P. Antioxidant effect of carotenoids *in vivo* and *in vitro*: an overview / P. Palozza, N. I. Krinsky // Methods in enzymology Carotenoids (Part A. Chemistry, separation, quantitation, and antioxidation) / ed. L. Packer. – San Diego : Academic Press, 1992. – Vol. 213. – P. 403–420.
5. Некоторые природные и синтетические антиоксиданты как стабилизаторы превращения β -каротина в витаминА / С. Б. Гомбоева, Н. Н. Гесслер, К. Б. Шумаев, Т. И. Хомич, А. Г. Мойсеенок, В. Я. Быховский // Биохимия. – 1998. – Т. 63, № 2. – С. 224–229.

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ ПО ЛИХЕНОЛОГИИ НА ЭЛЕКТИВНЫХ ПРЕДМЕТАХ В 9-11 КЛАССАХ

Н.Л. Герасименко

*ГОУ «КРЛ при СГУ», 167005, г. Сыктывкар, Октябрьский проспект, д. 55
e-mail: mitari57@mail.ru*

EDUCATIONAL AND RESEARCH PROJECTS ON LICHENOLOGY IN ELECTIVE SUBJECTS IN GRADES 9-11

N.L. Gerasimenko

*State educational institution «KRL at SSU», 55 Oktyabrsky Ave., Syktyvkar, 167005 Russia
e-mail: mitari57@mail.ru*

Лишайниками, этими «растениями-сфинксами», как их называл академик К.А. Тимирязев, можно заинтересовать и дошкольников, и детей в младшей школе. Существует множество адаптированных для школьников экологических методик, в том числе методы лишайноиндикации [1, 2, 3], которые несложно освоить во время урока-экскурсии и на занятиях факультатива в средней школе. Так, на факультативе «Основы исследовательской работы по биологии и экологии» восьмиклассники ГОУ «КРЛ при СГУ» не только знакомятся с понятием «биоиндикаторы», сравнивают морфотипы лишайников, рассматривают слоевища под биноклярной лупой, определяют площадь проективного покрытия на стволах деревьев, но и пишут небольшие статьи: учатся выдвигать гипотезы, описывать методики, цитировать литературу.

На уроках биологии в 9/11 классах (темы «Критерии вида», «Экологические факторы», «Биологическое разнообразие») в качестве примеров мы используем виды, занесённые в Красную книгу Республики Коми, в том числе и лишайники. Поиск информации в столь «весомом» издании, знакомство с терминами и стилем подачи материала расширяют кругозор, помогают не бояться «научных» книг, учат умению адаптировать сложные тексты.

Проектно-исследовательская деятельность в средней школе – это деятельность, направленная на выполнение собственного исследования, начиная от выделения целей и задач, отбора и освоения методик, планирования хода исследования до обсуждения ожидаемых результатов, подготовки работы к защите. В ГОУ «КРЛ при СГУ» в перечень учебных предметов включен элективный курс по основам учебно-исследовательской деятельности. В 8 классе учащимся предлагается пропедевтический курс, к 9 классу дети определяются с выбором исследовательской области. В 10 классе обучающийся осваивает методы исследования в биологии и экологии, собирает материал для проекта. В 11 классе завершается разработка учебно-исследовательского проекта, происходит его защита, представление на школьных конференциях различного уровня. Программы факультатива в 8 классе и элективный учебный предмет «Методы исследования в биологии и экологии» в 9-11 классах ориентированы на развитие личности ребенка, связаны с природоохранной деятельностью, могут стать основой профессионального самоопределения. Тематика проектов затрагивает уровни организации живого от молекулярного до экосистемного, объектами исследований являются растения, грибы и лишайники, животные, организм человека.

Первое знакомство лицеистов с основами лишайнологии и освоение методов биологической индикации состоялось в период летней практики (2009 г.), ежегодно организуемой экологическим отделением Малой академии Института биологии Коми научного центра УрО РАН. Юный исследователь попадает в биологическую лабораторию с современным сложным оборудованием, с ним работают увлечённые специалисты, научные сотрудники института. Тогда у ребёнка и появляется интерес к теме своего первого исследования, интерес к профессии учёного. При подготовке проекта дети знакомятся с литературой по теме исследования, учатся определять лишайники, готовят оборудование для полевых выходов: палетки для измерения проективного покрытия, конверты для сбора образцов и др. Часть работ выполнена

не в «поле», а, к примеру, в университетской лаборатории (определение на спектрофотометре содержания усниновых кислот в слоевищах лишайников разных видов), в кабинете биологии ГОУ «КРЛ при СГУ» (определение влагоёмкости лишайников, оценка репродуктивного статуса доминирующего вида; изучение степени «заражённости» слоевищ лишайников лихенофильными грибами). Ниже приводится перечень тем учебно-исследовательских проектов школьников, выполненных в 2014-2024 гг. на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН и на кафедре экологии СыктГУ им. Питирима Сорокина:

- Видовое разнообразие и биоиндикационные возможности лишайников окрестностей г. Сыктывкара.
- Морфофизиологические характеристики эпифитных лишайников заказника «Белый».
- Оценка степени загрязнения воздуха вдоль автодорог в микрорайоне Орбита (г. Сыктывкар) с помощью биоэкологической характеристики эпифитных лишайников.
- Содержание усниновой кислоты в эпигейных лишайниках *Cladonia stellaris* и *C. arbuscula*.
- Изучение лишайнофильных грибов на слоевищах лишайников, произрастающих на загрязнённых территориях.

Эти учебно-исследовательские проекты по лишайнологии получили высокие оценки на конференциях республиканского и российского уровней. Ряд статей опубликован [4, 5] в «Материалах республиканской школьной конференции научно-исследовательских работ по экологии». Неоценимую помощь в освоении методов лишайноиндикации, помощь в определении видового состава лишайников оказывают к.б.н., с.н.с. Института биологии Коми НЦ УрО РАН Т. Н. Пыстина и к.б.н., доцент СыктГУ С.Н. Плюснин.

Лишайники одинаково интересны для изучения как объекты биоиндикации химического загрязнения, так и под микроскопом на клеточном уровне. Задача школьных педагогов – заинтересовать юного исследователя наукой лишайнологией, наукой об этих уникальных «растениях-сфинксах».

ЛИТЕРАТУРА

1. Практикум по экологии / С. В. Алексеев, Н. В. Груздева, А. Г. Муравьев, Э. В. Гущина. – М. : АО МДС, 1996. – 192 с.
2. Боголюбов, А.С. Оценка загрязнения воздуха методом лишайноиндикации: метод. пособие / А. С. Боголюбов, М. В. Кравченко. – М. : Экосистема, 2011. – 15 с.
3. Харитонов, Н. П. Лишайники и их изучение / Н. П. Харитонов // Исследователь. – 2009. – № 3-4. – С. 182–197.
4. Материалы XXII республиканской школьной конференции научно-исследовательских работ по экологии / отв. ред. С. Н. Плюснина. – Сыктывкар : Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2021. – 103 с. – <https://ib.komisc.ru/rus/book-2021/2565-materialy-xxii-respublikanskoj-shkolnoj-konferentsii-nauchno-issledovatel'skikh-rabot-po-ekologii>.
5. Материалы XXV республиканской школьной конференции научно-исследовательских работ по экологии / отв. ред. С. Н. Плюснина. – Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2024. – 133 с. – <https://ib.komisc.ru/rus/book-2024/3192-materialy-xxv-respublikanskoj-shkolnoj-konferentsii-nauchno-issledovatel'skikh-rabot-po-ekologii>.

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОСИНТЕЗА И СОПРЯЖЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИШАЙНИКАХ

**Т.К. Головко, И.В. Далькэ, И.Г. Захожий, О.В. Дымова, Г.Н. Табаленкова,
М.А. Шелякин, Р.В. Малышев, Е.В. Силина**

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: golovko@ib.komisc.ru*

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL STUDIES OF PHOTOSYNTHESIS AND RELATED PROCESSES IN LICHENS

**T.K. Golovko, I.V. Dalke, I.G. Zakhozhiy, O.V. Dymova, G.N. Tabalenkova,
M.A. Shelyakin, R.V. Malyshev, E.V. Silina**

*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: golovko@ib.komisc.ru*

Лишайники играют важную роль в сложении фитоценозов таёжных лесов европейского северо-востока России. Однако представления о функциональном состоянии лишайнобиоты и реакциях, направленных на тонкую настройку функциональной структуры и метаболизма компонентов лишайникового симбиоза к условиям обитания остаются неполными [1]. Особенно это касается фотосинтетической деятельности лишайников, талломы которых, по сути, представляют собой структуру, созданную микобиотом для популяции клеток фотобионта. На долю фотобионта приходится всего 10-20 % биомассы таллома, но его присутствие превращает грибной гетеротрофный организм в автотрофную ассоциацию. Считается, что микобионт может регулировать численность популяции клеток фотобионта, стимулировать синтез и выделение продуктов ассимиляции углерода. Наиболее распространёнными группами лишайниковых фотобионтов являются зеленые водоросли и цианобактерии, способные к осуществлению кислородного фотосинтеза. Зеленые водоросли поставляют клеткам микобионта сахароспирты, цианобактерии – глюкозу и продукты биологической азотфиксации. У лишайников с обоими типами фотобионта, водоросли осуществляют фотосинтез, бактерии – азотфиксацию.

Фотосинтетический аппарат (ФСА) зеленых водорослей практически идентичен такому высших растений, фотосинтетическими пигментами являются хлорофиллы (*a* и *b*). У цианобактерий функцию Хл *b* в антенных структурах (фикобилисомах) выполняют билиновые пигменты, имеющие в отличие от циклической структуры Хл незамкнутую цепь тетрапирролов. Каротиноиды присутствуют у всех фотосинтезирующих организмов. Содержание Хл *a* в талломах исследованных нами видов варьировало в пределах 0.16-1.3 мг/г сухой массы, но у большинства лишайников составляло 0.4-0.8 мг/г при медианном значении 0.6 мг/г [2]. У хлоролишайников и лишайников, содержащих оба типа фотобионтов, соотношение Хл *a/b* составляло в среднем 3-3.5, что типично для большинства сосудистых растений. Концентрация каротиноидов (Кар) в талломах была в 2.5-3 раза меньше, чем зеленых пигментов. При этом талломы с высоким содержанием Хл накапливали больше Кар.

Лишайники принято относить к фототрофным организмам с низкой фотосинтетической активностью. По нашим данным, скорость нетто-фотосинтеза (Фн) гидратированных и адаптированных в оптимальных условиях талломов некоторых видов лишайников достигала 4-5 мг СО₂/г сухой массы ч, а с учетом реассимиляции выделяемой при дыхании СО₂ была в 1.5 раза выше. Это сопоставимо с листьями растений природной флоры таежной зоны. Цианолишайники, как правило, характеризовались более высокой интенсивностью Фн, чем талломы менее обогащенных азотом хлоролишайников. О значимости типа фотобионта для функционирования всей ассоциации свидетельствуют результаты, полученные с применением метода главных компонент и кластерного анализа. Тесно взаимосвязанные между собой по-

казатели нетто-фотосинтеза и содержания азота вносили основной вклад в главную компоненту 1 (тип фотобионта). Взаимосвязь между содержанием зеленых и желтых пигментов в значительной степени определялась принадлежностью лишайника к экологической группе по типу субстрата (главная компонента 2). Для кластерного анализа в качестве переменных использовали параметры, вносящие основной вклад в главные компоненты. Изученные виды подразделились на две группы: первая объединила все цианобионтные виды, а вторая разделилась еще на два кластера: хлоролишайники и лишайники с обоими типами фотобионтов.

Результаты исследования зависимости нетто-поглощения CO_2 от температуры, освещенности и содержания воды в талломах подтверждают отмеченный ранее другими авторами факт, что наиболее благоприятными для фотосинтеза и роста бореальных видов лишайников являются весенний и осенний периоды с умеренно теплой и влажной погодой. Летом при высокой температуре и низкой влажности, когда талломы быстро теряют влагу, в дневные часы у них наблюдали выделение CO_2 . Максимальные величины нетто-поглощения CO_2 были зарегистрированы при температуре талломов 15-20 °С, относительном содержании в них воды около 60 % и плотности потока ФАР порядка $\frac{1}{4}$ полной солнечной.

На примере модельного вида *Lobaria pulmonaria* установлены закономерности изменения функциональных параметров ФСА фотобионта и адаптивные реакции энергопластического метаболизма лишайника в годичном цикле [3]. Отобранные в зимний период образцы проявляли фотохимическую активность и способность ассимилировать CO_2 сразу же после кратковременной (минуты) гидратации и акклимации в комнатных условиях. Это свидетельствует о высокой сохранности ФСА. После перезимовки лишайника четко очерченный альгальный слой составлял ~17 % толщины таллома, клетки зеленой водоросли имели в диаметре 4.5 ± 0.7 мкм [4]. На долю сахароспиртов приходилось 75 % пула сахаров, а содержание азота немногим превышало 2 % сухой массы таллома; причем 50 % массы составляли растворимые белки.

Лишайники являются наиболее распространенными объектами биоиндикации. При этом чаще всего оценивают видовое разнообразие, обилие и жизненное состояние лишайников. Снижение численности, встречаемости, репродуктивности, появление некрозов и хлорозов и, наконец, исчезновение лишайников – результат крайнего загрязнения среды. Применение эколого-физиологических методов и подходов позволяет выявить первые признаки нарушения процессов жизнедеятельности еще до появления видимых повреждений талломов, что можно рассматривать как предупредительный сигнал о негативных изменениях в окружающей среде [5]. Наиболее чувствительны к загрязнению среды показатели нетто-поглощения CO_2 , дыхания, содержание пероксида водорода и активности антиоксидантных ферментов.

Итак, изучение процессов жизнедеятельности лишайников значительно расширяет понимание разнообразия и современного состояния лишайнобиоты таежных лесов. Полученные результаты углубляют знания о защитных реакциях и функциональных свойствах лишайников, влиянии природных факторов и антропогенного загрязнения среды на энергопластический метаболизм талломов.

Работа выполнена по теме НИР № 122040600021-4 за счет средств федерального бюджета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головкин, Т. К. Эколого-биологические и функциональные свойства лишайников таежной зоны Европейского Северо-Востока России (обзор) / Т. К. Головкин, М. А. Шелякин, Т. Н. Пыстина // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 1. – С. 6–13.
2. Головкин, Т. К. Фотосинтетические пигменты и азот в талломах лишайников бореальной флоры / Т. К. Головкин, О. В. Дымова, Г. Н. Табаленкова, Т. Н. Пыстина // Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – № 4. – С. 38–44.
3. Функциональная экология лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в таежной зоне на европейском северо-востоке России / Т. К. Головкин, И. В. Далькэ, О. В. Дымова и др. //

Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2018. – № 3. – С. 23–33. – DOI: 10.19110/1994-5655-2018-3-23-33.

4. Photosynthetic and Respiratory Capacity of Foliose Lichen *Lobaria pulmonaria* throughout the Annual Cycle / M. A. Shelyakin, I. G. Zakhozhiy, I. V. Dalke, O. V. Dymova, R. V. Malyshch, T. K. Golovko // Russian Journal of Plant Physiology. – 2021. – Vol. 68. – N 6. – P. 1048–1058. DOI: 10.1134/S1021443721060182/.

5. Реакция лишайников на загрязнение среды при добыче бокситовой руды в таежной зоне / Т. К. Головкин, М. А. Шелякин, И. Г. Захожий, Г. Н. Табаленкова, Т. Н. Пыстина // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 2. – С. 44–53. – DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-044/2-053/1.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СОЗОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА *USNEA FLORIDA* И *U. SUBFLORIDANA* В БЕЛАРУСИ

В.В. Голубков¹, А.Г. Цуриков^{2,3}, П.Н. Белый⁴, И.М. Болсун²

¹Беларусь, г. Гродно 230021, ул. Белые Росы, 13, 7; e-mail: vgolubkov@tut.by

²Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
246019, Беларусь, г. Гомель, ул. Советская, 104

³Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

⁴Центральный ботанический сад НАН Беларуси, 220012, Беларусь, г. Минск, ул. Сурганова, 2в

DISTRIBUTION AND SOZOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *USNEA FLORIDA* AND *U. SUBFLORIDANA* IN BELARUS

V.V. Golubkov¹, A.H. Tsurukau^{2,3}, P.N. Bely⁴, I.M. Bolsun²

¹13, 7 Belyje Rosy St., Grodno, 230021 Belarus; e-mail: vgolubkov@tut.by

²Francisk Skorina Gomel State University, 104 Sovetskaja St., Gomel, 246028 Belarus

³Samara National Research University, 34 Moskovskoye Rd., Samara, 443086 Russia

⁴Central Botanical Garden of National Academy of Sciences of Belarus,
2B Sarganova St., Minsk, 220012 Belarus

Благодаря быстрому развитию и все более широкому внедрению молекулярно-генетических методов лишайники получили новые инструменты для проверки видовой гипотезы для многих спорных таксонов, концепции которых ранее основывались, в основном, на анатомо-морфологических и химических критериях. Многие представители рода *Usnea* Dill. ex Adans. относятся именно к таким – спорным в таксономическом отношении таксонам – в отношении которых было проведено множество исследований, основанных на анализе данных о последовательности ДНК. В частности, было показано, что два хорошо известных и легко различимых вида – фертильный *U. florida* (L.) F.H. Wigg. и, в основном, стерильный *U. subfloridana* Stirt. – образуют одну кладу, и потому было предложено рассматривать данные таксоны как конспецифичные под названием *U. florida* [1]. Хотя вышеуказанное и более поздние молекулярные исследования не смогли однозначно доказать обоснованность разграничения *U. florida* и *U. subfloridana* в качестве самостоятельных видов, их номенклатура осталась в широком употреблении в специализированной литературе. Исходя из различий в способах размножения, морфологических характеристик, а также особенностей распространения и экологической приуроченности *U. florida* считается первичным, фертильным аналогом в паре видов, а *U. subfloridana* – вторичным, стерильным аналогом. *Usnea florida* имеет субкеанический характер распространения и встречается на ограниченных территориях, произрастая в основном на лиственных деревьях в местах с высокой влажностью воздуха. *Usnea subfloridana* характеризуется гораздо более широким ареалом и экологической амплитудой [2].

При ревизии гербарного материала лишайников рода *Usnea* Беларуси были обнаружены образцы *U. subfloridana* с апотециями. Первые такие образцы были собраны Н.В. Горбач в 1950 г. в окрестностях г. Браслав. Схожие образцы были собраны В.В. Голубковым в 1986 г. на территории Россонского и Верхнедвинского районов Витебской области. Современный образец был найден в 2006 г. П.Н. Белым в Березинском биосферном заповеднике. Всего нами было выявлено 7 фертильных образцов. Следует отметить, что апотеции у *U. subfloridana* – редкое явление. Например, во время изучения эстонских образцов этого вида только одно из 928 слоевищ оказалось фертильным [2].

Неоднозначная трактовка таксономического статуса *U. florida* и *U. subfloridana* является проблемой не только с теоретической, но и с практической точки зрения. *Usnea florida* является охраняемым видом во многих странах Европы. Он имеет статус исчезнувшего в Дании, Нидерландах, Чехии и в равнинных регионах Швейцарии; находящегося под угрозой исчезновения – в Австрии, Германии и Швеции; критически угрожаемого – в высокогорьях Швейцарии; уязвимого – в Норвегии и Украине. Наименьшее беспокойство состояние популяций *U. florida* вызывает в Великобритании. В Польше *U. florida* имеет различные региональные природоохранные категории (под угрозой исчезновения, угрожаемый, критически угрожаемый и регионально вымерший) [3 и др.]. В России *U. florida* также сокращает свою численность, оказываясь в Красных книгах: в Калининградской области вид имеет статус 2 категории охраны, в Московской области и Республике Удмуртия является, вероятно, исчезнувшим видом [4 и др.].

В Беларуси к концу 1993 г. было зафиксировано четыре местонахождения *U. florida*, два из них приведено для особо охраняемых природных территорий (ООПТ): национального парка (НП) «Беловежская пуца» и Березинского биосферного заповедника. В статусе вида, находящегося под угрозой исчезновения (I категория), *U. florida* был включен во 2-е издание Красной книги Республики Беларусь (ККРБ) 1993 г. В 2005 г. было отмечено уже 8 локалитетов, из которых один находился на территории Беловежской пуцы, другой – на территории Березинского биосферного заповедника. В 3-е издание ККРБ 2005 г. вид включен в статусе III категории. В 2015 г. в 4-м издании ККРБ было приведено еще одно местонахождение *U. florida* (Мядельский район Минской области), а сам вид был указан в статусе II категории (EN – исчезающий вид).

В ходе ревизии 464 образцов лишайников рода *Usnea*, хранящихся в гербариях Беларуси и собранных на ее территории за период 1924-2018 гг., нами было определено лишь 10 образцов *U. florida*, значительная часть которых является историческими сборами. В связи с вышеуказанным, необходимо рекомендовать сохранить текущую природоохранную категорию *U. florida* (II) в очередном издании ККРБ.

Следует отметить, что ко многим историческим указаниям *U. florida* следует относиться критически, поскольку часть образцов может принадлежать виду *U. intermedia* (A. Massal.) Jatta. Последний был совсем недавно приведен как новый для Беларуси [5]. В ходе ревизии нами было выявлено 3 образца *U. intermedia* – на территориях НП «Беловежская пуца» и «Нарочанский», а также для Березинского биосферного заповедника. Все данные образцы ранее были определены как *U. florida*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ribosomal DNA and b-tubulin data do not support the separation of the lichens *Usnea florida* and *U. subfloridana* as distinct species / K. Articus, J. E. Mattsson, L. Tibell, M. Grube, M. Wedin // *Mycological Research*. – 2002. – Vol. 106. – P. 412–418.
2. Low genetic differentiation between apotheciate *Usnea florida* and sorediate *Usnea subfloridana* (Parmeliaceae, Ascomycota) based on microsatellite data / P. Degtjarenko, K. Mark, R. Moisejevs, D. Himelbrant, L. Stepanchikova, A. Tsurykau, T. Randlane, C. Scheidegger // *Fungal Biology*. – 2020. – Vol. 124. – P. 892–902.
3. Lichen diversity in the managed forests of the Karnieszewice Forest Division and its surroundings (N Poland) / W. Fałtynowicz, A. Kowalewska, R. Szymczyk, M. Kukwa, E. Adamska,

P. Czarnota, D. Kubiak, K. Pietrzykowska-Urban // Ecological Questions. – 2015. – Vol. 22. – P. 55–66.

4. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / МПР РФ; Росприроднадзор; РБО; МГУ им. М. В. Ломоносова: Гл. редколл.: Ю. П. Трутнев и др.; Сост. Р. В. Камелин и др. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 855 с.

5. Яцына, А. П. Предварительная ревизия лишайников рода *Usnea* Dill. ex Adans., в Гербарии MSK-L: биохимические особенности, экология и распространение видов / А. П. Яцына / Биоразнообразии грибов и лишайников особо охраняемых природных территорий : Материалы конференции. – Минск : Колорград, 2021. – С. 213–224.

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ *HYPOGYMNA PHYSODES* (L.) NYL.

Е.А. Домнина^{1,2}, Т.Я. Ашихмина^{1,2}, А.С. Тимонов^{1,2}

¹Вятский государственный университет, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

e-mail: edomnina68@gmail.com

STUDYING THE CONTENT OF SOME ELEMENTS IN THE EPIPHYTIC LICHEN *HYPOGYMNA PHYSODES* (L.) NYL.

Е.А. Domnina^{1,2}, Т.Я. Ashikhmina^{1,2}, А.С. Timonov^{1,2}

¹Vyatka State University, 36 Moskovskaya St., Kirov, 610000 Russia

²Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia

e-mail: edomnina68@gmail.com

Для оценки степени атмосферного загрязнения часто используют различные индикаторные свойства лишайнобиоты: химический состав, биохимические показатели жизнедеятельности, морфология и проективное покрытие, видовой состав, популяционная структура [1-3]. Применение лишайников в биоиндикации обусловлено их способностью накапливать вещества, содержащиеся в атмосферном воздухе. В последнее время участилось использование лишайников в медицинских целях. Изучение фонового содержания элементов в лишайниках дает возможность более широкого их использования.

Целью нашей работы было изучение элементного состава таллома лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в подзоне южной тайги.

Объектом исследования являлись талломы лишайника *H. physodes*, который доминирует в эпифитном покрове основных лесообразующих пород (сосна, ель) в подзоне южной тайги. Отбор проб лишайников для исследования проводили на 14 участках со стволов деревьев сосны на высоте 1.3-1.5 м.

Определение элементного состава проводили в талломах *H. physodes* атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами анализа в Аналитическом испытательном центре ФГБУН «Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН» (АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка, Московская обл.). Разложение образцов проводили в автоклаве в реакционных тefлоновых ёмкостях с добавлением концентрированной азотной кислоты и перекиси водорода. Всего в 14 образцах было определено 52 элемента.

Содержание большинства элементов в изучаемых образцах колебалось в значительных пределах (табл. 1 и 2). По накоплению в лишайнике биогенные элементы составляли ряд Ca>K>S>P>Fe>Mg.

Таблица 1

Содержание биогенных элементов в талломах лишайников (мкг/г)

| Элемент | мин | макс | ср. арифм. |
|---------|----------|-----------|------------|
| Ca | 3 883.95 | 19 440.79 | 10 047.99 |
| K | 2 176.12 | 3 695.28 | 2 910.14 |
| S | 736.68 | 1 265.46 | 918.35 |
| P | 450.58 | 1 265.83 | 756.19 |
| Fe | 364.00 | 1 800.74 | 706.84 |
| Mg | 424.15 | 622.37 | 516.46 |

В таблице 2 приведены элементы, количество которых в талломах *H. physodes* более 10.0 мкг/г. Отмечено высокое содержание алюминия в лишайнике.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в талломах лишайников (мкг/г)

| Элемент | мин | макс | ср.арифм |
|---------|--------|----------|----------|
| Al | 608.27 | 1 077.61 | 850.75 |
| Mn | 74.42 | 224.19 | 148.47 |
| Na | 17.96 | 191.43 | 57.26 |
| Zn | 44.23 | 63.35 | 53.45 |
| Ti | 13.44 | 33.33 | 20.92 |
| Sr | 8.81 | 21.67 | 13.50 |
| Ba | 6.76 | 22.74 | 13.19 |

Статистически значимые корреляционные связи установлены между следующими парами элементов: Ca–Mg ($r=0.74$); Ca–Mn ($r=0.78$); Ca–Sr ($r=0.90$); K–P ($r=0.80$); Fe–S ($r=0.72$); Fe–Ti ($r=0.86$); Mg–Mn ($r=0.85$); Sr–Mg ($r=0.74$); Sr–Mn ($r=0.80$); Ti–Al ($r=0.72$); Ba–Al ($r=0.79$). Наличие значимой корреляционной связи в парах K–P и Mg–Ca аналогичны приведенным в работе [4]. Такие элементы как Na и Zn не имеют корреляционных связей ни с одним из приведенных элементов. Обращает внимание отсутствие между элементами значимой отрицательной корреляции.

Таким образом, нами получены оригинальные данные об элементном составе талломов лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Полученные результаты могут быть использованы как исходные для дальнейших исследований лишайников в подзоне южной тайги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бязров, Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л. Г. Бязров. – М. : Научный мир. – 2002. – 336 с.
2. Meysurova, A. F. Toxic effect of nitrogen and sulfur dioxides on the chemical composition of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.: IR spectroscopic analysis / A. F. Meysurova, S. D. Khizhnyak, P. M. Pakhomov // Contemporary Problems of Ecology. – 2011. – Vol. 4, N 2. – P. 186–194.
3. Реакция лишайников на загрязнение среды при добыче бокситовой руды в таёжной зоне / Т. К. Головкин, М. А. Шелякин, И. Г. Захожий, Г. Н. Табаленкова, Т. Н. Пыстина // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 2. – С. 44–52.
4. Табаленкова, Г. Н. Элементный состав биомассы некоторых видов лишайников бореальной зоны на европейском северо-востоке / Г. Н. Табаленкова, И. В. Далькэ, Т. К. Головкин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 221–225.

**ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ *LOBARIA PULMONARIA*
НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА
«БУШКОВСКИЙ ЛЕС» (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Е.А. Домнина^{1,2}, С.В. Шабалкина¹

¹*Вятский государственный университет, 610000, г. Киров, ул. Московская, д.36*

²*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,*

167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

e-mail: edomnina68@gmail.com

**ONTOGENETIC STRUCTURE OF THE POPULATION OF *LOBARIA PULMONARIA*
ON THE TERRITORY OF THE STATE NATURAL RESERVE «BUSHKOVSKY FOREST»
(KIROV REGION)**

E.A. Domnina^{1,2}, S.V. Shabalkina¹

¹*Vyatka State University, 36 Moskovskaya St., Kirov, 610000 Russia*

²*Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch*

of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia

e-mail: edomnina68@gmail.com

Лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *Lobariaceae*, *Ascomycota*) – крупный эпифитный листоватый трехкомпонентный лишайник, который широко распространен в бореальных, умеренных, горных и океанических районах мира [1]. Из-за сравнительно узкой экологической ниши, к его гибели приводит и выборочная рубка лесных фитоценозов, при которой существенно нарушаются режимы влажности и освещенности. В связи с этим, *L. pulmonaria* получила охранный статус в ряде европейских стран [2], в Российской Федерации и ее субъектах категорию статуса редкости 2 – вид, сокращающийся в численности и/или распространении [3].

Одним из направлений исследований популяций редких и исчезающих видов является изучение онтогенетической и возрастной структуры. Это способствует лучшему пониманию закономерностей формирования популяционной структуры в конкретный момент времени и онтогенеза, позволяет прогнозировать их развитие в будущем, разрабатывать стратегию охраны [4]. Исследования *L. pulmonaria* в данных направлениях немногочисленны. Цель работы – изучение структуры популяции *L. pulmonaria* в липовых и хвойно-широколиственных лесах государственного природного заказника «Бушковский лес».

Охраняемая территория расположена в Уржумском районе Кировской области, на Уржумском водораздельном плато Вятского увала, в подзоне смешанных (или широколиственно-хвойных, подтаежных) лесов. Состояние популяции *L. pulmonaria* изучали маршрутным методом. По маршруту фиксировали все деревья с талломами лишайника; у форофита измеряли мерной вилкой диаметр ствола на уровне груди, у некоторых деревьев определяли возраст по кернам, изъятым буравом Пресслера. При учете встречаемости *L. pulmonaria* за счетную единицу принимали отдельное дерево – носитель лишайника (форофит) [4]. В качестве элементарной единицы при исследовании популяции считали таллом, который на момент исследования визуально регистрировался как дискретное образование. У каждого таллома измеряли вертикальный и горизонтальный размеры (далее – длина и ширина соответственно), подсчитывали число лопастей. Показатели талломов *L. pulmonaria* изучали методом сплошного учета на высоте 0-2 м от земли. По совокупности признаков определяли онтогенетическое состояние в соответствии с подходами В.В. Горшкова и Н.А. Семеновой [5]. В месте обитания вида регистрировали характеристики сообществ.

В пределах отдельных кварталов заказника «Бушковский лес» *L. pulmonaria* обнаружена только на стволах *Tilia cordata* Mill. Возраст деревьев с талломами достигал 60 и более лет; диаметр ствола варьировал от 19 до 92 см (средний диаметр 41.5 см). *L. pulmonaria* оби-

тала только на наклонных, изогнутых, поросших мхами стволах. Наиболее часто ей сопутствовал гигрофильный листостебельный мох *Neckera pennata* Hedw.

Подробное обследование талломов *L. pulmonaria* проведено на 40 деревьях, на которых зафиксировано 334 элементарных единиц. Длина талломов составила от 0.2 до 36 см (среднее 5.94 ± 0.23 см); ширина – от 0.2 до 28 (среднее 5.62 ± 0.21 см); число лопастей от 1 до 25 (среднее 5.5 ± 0.18). Размерная структура популяции свидетельствует о преобладании талломов среднего размера. Талломы с линейными размерами более 20 см были единичны.

Результаты исследования онтогенетической структуры показали наличие талломов *L. pulmonaria* восьми состояний из трех периодов: 1) прегенеративного – ювенильное (j), им-матурное 1 (im1) и 2 (im2), виргинильное 1 (v1), 2a (v2a), 2b (v2b), 2c (v2c); 2) генеративного – генеративное (g); 3) постгенеративного – сенильное (s). В онтогенетическом спектре 25.5 % талломов находятся в виргинильном 1 состоянии и 47.3 % в виргинильном 2a состоянии, которые характеризуются взрослым обликом с сформированными лопастями и долями, отчетливо выраженными ямчатыми углублениями и ребрами (v1), наличием соредиев (v2a).

Вклад талломов генеративного состояния *L. pulmonaria* в онтогенетическую структуру незначителен – всего 3.6 %. Такая особенность характерна для этого вида лишайника и объясняется низкой вероятностью образования плодовых тел. Высокая встречаемость фертильных талломов может быть связана только с благоприятными микроклиматическими условиями, которые создаются в малонарушенных лесах [5].

Очень малое количество талломов *L. pulmonaria* зафиксировано в сенильном (0.6 %) и виргинильных 2b и 2c (по 0.3 % каждое) состояниях; отсутствуют талломы в субсенильном состоянии.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют, что популяция *L. pulmonaria* на территории заказника «Бушковский лес» достаточно молодая: доля талломов всех онтогенетических состояний прегенеративного периода в совокупности составляет 95.8 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yoshimura, I. Lung lichens and their vegetation in Japan and the other regions / I. Yoshimura // Lobarion Lichens as Indicators of the Primeval Forests of the Eastern Carpathians / Eds. Kondratyuk S. Y., Coppins B. J. (Kiev, 25–30 May 1998). – Kiev, 1998. – P. 53–63.
2. Scheidegger, Ch. Early development of transplanted isidiod soredia of *Lobaria pulmonaria* in endangered population / Ch. Scheidegger // Lichenologist. – 1995. – Vol. 27, N 5. – P. 361–374.
3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23.05.2023 г. № 320 «Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации» (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 21 июля 2023 г., рег. № 74362).
4. Михайлова, И. Н. Анализ субпопуляционных структур эпифитных лишайников (на примере *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) / И. Н. Михайлова // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Биология. – 2005. – № 1. – С. 124–134.
5. Горшков, В. В. Структура популяций *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в лесах разной давности последнего нарушения в средней тайге Республики Коми / В. В. Горшков, Н. А. Семенова // Современное состояние и пути развития популяционной биологии : материалы X Всероссийского популяционного семинара (г. Ижевск, 17-22 ноября 2008 г.). – Ижевск : КнигоГрад, 2008. – С. 113–116.

К ИЗУЧЕНИЮ ЛИХЕНОБИОТЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.Ю. Ермолаева¹, Е.Э. Мучник², А.Г. Пауков³

¹Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, 344006, ул. Большая Садовая, д. 105/42

²Институт лесоведения РАН, Московская обл., г. Одинцово, 143030, с. Успенское,
ул. Советская, д. 21

³Уральский Федеральный университет имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19
e-mail: oyeremolaeva@sfedu.ru

TO THE STUDY OF LICHEN BIOTA OF THE ROSTOV REGION

O.Yu. Ermolaeva¹, E.E. Muchnik², A.G. Paukov³

¹Southern Federal University, 105/42 Bolshaya Sadovaya St., Rostov-na-Donu, 344006 Russia

²Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, 21 Sovetskaya St., v. Uspenskoe,
Odyntsovo, Moscow Region, 143030 Russia

³Uralsky Federal University named after the First President of Russia B.N. Eltsin,
19 Mira St., Ekaterinburg, 620002 Russia
e-mail: oyeremolaeva@sfedu.ru

Ростовская область площадью 100.9 тыс. км² расположена на юге Восточно-Европейской равнины. С севера на территорию области заходит Среднерусская возвышенность, на западе вклинивается восточная часть Донецкого кряжа, в юго-восточной части области возвышаются Сальско-Маньчская гряда и Ергени. Максимальная высота – 350 м н.у.м. Климат умеренно-континентальный, средняя температура воздуха в январе составляет -7°C, в июле +23°C, среднегодовой объем выпадения осадков – 424 мм. Регион относится к степной зоне, лесистость очень низкая – 2.5 %, из них 1 % представлен естественными лесами (байрачными, пойменными или аренными). В долинах рек наблюдаются выходы песчаников, известняков, мергелей, опок, глин, песков и др.

Лихенобиота такого обширного и разнообразного в природном отношении региона изучена недостаточно. К началу наших исследований список лишайников Ростовской обл. насчитывал около 200 видов, однако более половины из них не были опубликованы: сведения о них содержатся только в рукописи А.М. Волковой (не датированной, но после 1995 г.). Несколько лучше изучена группа степных лишайников, часть которых была включена в список охраняемых в регионе [1]. С 2014 г. в рамках работ для подготовки следующего издания Красной книги Ростовской области осуществлялся мониторинг редких степных лишайников, уточнено распространение, численность и состояние популяций нескольких видов [2]. В 2023 г. начата ревизия коллекции гербария RV, что позволило внести значительные изменения как в перечень охраняемых видов лишайников [3], так и в список региональной лихенобиоты в целом. Номенклатура приводимых ниже видов дана, в основном, по сводке [4], отсутствующие в этом источнике виды – по «Списку лихенофлоры России» [5].

К настоящему времени произведена ревизия немногим более 1000 образцов, выявлено 109 видов, 35 из которых не отмечались ранее в Ростовской обл. Среди новых для области почти половину составляют широко распространенные виды накипных лишайников, обнаруженных в общих с макролишайниками пакетах: *Acarospora moenium* (Vain.) Räsänen, *Athalia pyracea* (Ach.) Arup et al., *Biatora globulosa* (Flörke) Fr., *Candelariella efflorescens* R.C. Harris & W.R. Buck, *Catillaria nigroclavata* (Nyl.) Schuler, *Lecanora albellula* (Nyl.) Th. Fr., *L. chlarotera* Nyl., *L. subcarpineae* Szatala, *L. symmicta* (Ach.) Ach., *Lepraria elobata* Tónsberg, *Myriolecis persimilis* (Th.Fr.) Śliwa et al., *Placynthiella icmalea* (Ach.) Coppins et P. James, *Scoliciosporum chlorococcum* (Graewe ex Stenh.) Vězda, *S. sarothamni* (Vain.) Vězda, *Verrucaria rupestris* Schrad., *Xanthocarpia crenulatella* (Nyl.) Frödén et al., *X. interfulgens* (Nyl.) Frödén.

Среди впервые отмеченных в регионе макролишайников есть как обычные, широко распространенные (*Enchylium tenax* (Sw.) Gray, *Peltigera rufescens* (Weiss) Humb., *Physconia*

enteroxantha (Nyl.) Poelt), так и в различной степени редкие и интересные находки. В первую очередь следует отметить группу видов, редких в европейской части России, характерных для петрофитных либо крайне сухих опустыненных степей: *Acarospora schleicheri* (Ach.) A. Massal., *Psora decipiens* (Hedw.) Hoffm., *Ramalina polymorpha* Ach., *Thalloidima physaroides* (Opiz) Opiz, *Xanthoparmelia delisei* (Duby) O. Blanco et al., *X. pokorny* (Körb.) O. Blanco et al., *X. pulvinaris* (Gyeln.) Ahti & D. Hawksw. К степным сообществам приурочены и рассеянно встречающиеся в европейской части России *Circinaria contorta* (Hoffm.) A. Nordin et al., *Cladonia acuminata* (Ach.) Norrl., *C. rangiformis* Hoffm., *Lobothallia radiosa* (Hoffm.) Hafellner, а редкий для Ростовской области *Cetraria islandica* (L.) Ach. выявлен на мелкоземе у кромки карьера по добыче камня. Группа редких в регионе эпифитных видов пополнена находками *Candelaria concolor* (Dicks) Stein, *Melanelixia subargentifera* (Nyl.) O. Blanco et al., *Ramalina europaea* Gasparyan et al.

Часть упомянутых видов вошли в списки охраняемых, либо нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде и мониторинге на территории Ростовской области [3], но очевидно, что с расширением знаний о лишенобиоте региона эти списки будут корректироваться.

Наиболее актуальными задачами лишенологических исследований в Ростовской области представляются следующие. 1) Продолжение ревизии коллекции лишайников гербария RV, для подтверждения или исключения видов, сведения о которых были опубликованы или содержатся в рукописном списке А.М. Волковой. 2) Организация исследований на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) региона, лишенобиота которых фактически не изучалась. Даже для ООПТ федерального значения (заповедник «Ростовский», заказник «Цимлянский», Ботанический сад Южного федерального университета) известны от 0 до 4 видов лишайников, а из сети региональных ООПТ (природные заказники «Горненский» и «Левобережный», природный парк «Донской», 41 охраняемый ландшафт, 20 охраняемых природных объектов, 8 памятников природы; 5 ООПТ местного значения) только для памятника природы «Александровский лес» список выявленных лишайников включает 11 видов, еще в трех ООПТ отмечены по 1-3 вида, для остальных сведения отсутствуют. 3) Продолжение работ по ведению региональной Красной книги для уточнения распространения и состояния популяций охраняемых видов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Ростовской области: в 2-х т. / Изд-е 2-е. Т. 2. Растения и грибы / Ред. В. В. Федяева. – Ростов-на-Дону: Минприроды Ростовской области, 2014. – 344 с.
2. Ермолаева, О. Ю. О распространении и состоянии ценопопуляций редких видов лишайников в Ростовской области / О. Ю. Ермолаева, Т. В. Захватова // Разнообразие растительного мира. – 2023. – № 1 (16). – С. 43–49. – <https://doi.org/10.22281/2686-9713-2021-1-58-74>
3. Мучник, Е. Э. К формированию раздела «Лишайники» в новом издании Красной книги Ростовской области / Е. Э. Мучник, О. Ю. Ермолаева // Электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ «Грани познания». – № 5(88). – 2 ноября 2023 www.grani.vspu.ru – С. 75–79.
4. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-Forming and Lichenicolous Fungi / M. Westberg, R. Moberg, M. Myrdal, A. Nordin, S. Ekman. – Uppsala University : Museum of Evolution, 2021. – 935 p.
5. Список лишенофлоры России / сост. Г. П. Урбанавичюс, отв. ред. М. П. Андреев. – СПб.: Наука, 2010. – 194 с.

ЛИШАЙНИКИ РОДА *USNEA* И *PELTIGERA* КАК ЦЕННЫЙ ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Д.В. Жильцов¹, О.С. Бровко¹, К.Г. Боголицын^{1,2}, Т.А. Бойцова¹, А.Д. Ивахнов^{1,2}

¹ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, 163020, г. Архангельск, просп. Никольский, д. 20

²САФУ имени М.В. Ломоносова, 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17
e-mail: dnorton.usa@gmail.com

LICHENS OF THE GENUS *USNEA* AND *PELTIGERA* AS A VALUABLE SOURCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

D.V. Zhiltsov¹, O.S. Brovko¹, K.G. Bogolitsyn^{1,2}, T.A. Boitsova¹, A. D. Ivakhnov^{1,2}

¹Federal Center for Integrated Arctic Research named after the RAS Academician N.P. Laverov
of the RAS Ural branch, 20 Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020 Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163001 Russia
e-mail: dnorton.usa@gmail.com

Лишайник – это результат симбиоза не только двух, но часто и трех различных компонентов – грибов, одноклеточных зеленых водорослей и цианобактерий, которые в ходе эволюции приобрели свойства кардинально иного организма, совершенно не похожего на слагающие его компоненты. Самое главное достижение лишайникового симбиоза в том, что в трехкомпонентных лишайниках реализованы все элементы углеродного, азотного и кислородного циклов, чего нет ни в одном из других земных организмов [1].

Биохимия представителей царства Грибов весьма специфична и характеризуется наличием в них веществ ароматической природы – лишайниковых кислот, главным образом, кислот полифенольного ряда (усниновая кислота (УК), леканоровая и физодовая кислоты) не встречающихся в других группах организмов [2]. Фенольные метаболиты лишайников обладают биологической активностью (противоопухолевой, антимикробной, антиоксидантной и др.), что позволяет успешно использовать их при лечении заболеваний различной этиологии. Кроме того клеточная стенка некоторых видов лишайников содержит биополимер хитин, что делает одновременное извлечение лишайниковых кислот и хитина перспективным. Хитин (ХТ) является основным структурным компонентом клеточных стенок грибов, участвующих в формировании лишайникового симбиоза. В клеточных стенках грибов и лишайников хитин прочно связан с другими полисахаридами (глюкан и гемицеллюлозы) и полифенолами (меланин). ХТ и входящие в комплекс (хитинсодержащий комплекс – ХСК) другие компоненты обладают высокой биологической активностью, и нашли широкое применение в медицине и ветеринарии [3].

Целью данной работы являлось выделение комплексов биологически активных веществ различной природы из лишайников с применением экстракционных методов (сверхкритическая флюидная экстракция) и последовательной обработки химическими реагентами (кислотно-щелочной гидролиз).

В качестве объектов исследования использованы два вида лишайника – кустистый эпифитный вида *Usnea subfloridana* Stirt и листоватый эпигейный *Peltigera aphthosa* (L.) Willd., широко распространенные в России и в Северном полушарии.

Основным вторичным метаболитом лишайника *U. subfloridana* является УК [4]. Выделение УК из таллома проводили методом сверхкритической флюидной экстракции диоксидом углерода (СКФЭ) с использованием установки MV-10ASFЕ (Waters, США). В качестве экстрагента применялся диоксид углерода (скорость подачи растворителя – 2 мл/мин.). Процесс СКФЭ изучался в широком интервале температур (от 35 до 80 °С) и давлений (от 150 до 350 атм.) при продолжительности одной экстракции от 40 до 80 мин.

В химическом отношении ХТ инертен: не растворяется в воде, разбавленных растворах кислот и щелочей, многих спиртах и других органических растворителях. Из-за тесной

ассоциации хитина с другими соединениями в природных источниках для его выделения применяют методы, основанные на депротонировании, деминерализации и обесцвечивании сырья (панцирей ракообразных, грибов, насекомых) с помощью щелочей, кислот, окислителей или ферментных препаратов. В данном исследовании был применен метод кислотно-щелочного гидролиза (КЩГ) для выделения комплексов ХТ, являющихся основным компонентом клеточной стенки лишайника *P. aphthosa*. Для выделения применялась трех стадийная обработка, в ходе которой варьировали температуру и концентрацию реагентов, при продолжительности каждой стадии 2 ч [5].

В ходе проведенных исследований определены оптимальные параметры СКФЭ УК из лишайника *U. subfloridana*: давление – 190 атм; температура – 75 °С; продолжительность – 70 мин. При выбранных оптимальных условиях выход УК составил 0.45 % от абсолютно сухого сырья.

Установлено, что выход ХСК из таллома лишайника *P. aphthosa* в зависимости от условий КЩГ варьируется в диапазоне от 20.2 до 33.6 %. Максимальный выход ХСК отмечен при обработке на первой стадии 1 % раствором NaOH (60 °С), на второй – 0.5 % HCl (70 °С) и заключительной – 2 % NaOH (80 °С) при продолжительности каждой в течение 2 ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова, З. Н. Кормовые лишайники Крайнего Севера СССР (краткий определитель) / З. Н. Смирнова. – Л. : Сельхозиздат, 1962. – 72 с.
2. Supercritical Fluid Extraction of Usnic Acid from Lichen of *Cladonia* Genus / O. S. Brovko, A. D. Ivakhnov, I. A. Palamarchuk, T. A. Boitsova // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2017. – N 11. – P. 1306–1311.
3. Меланины и особенности меланогенеза на разных стадиях жизненного цикла мухи *Hermetia illucens* / Н. А. Ушакова, А. Е. Донцов, Н. Л. Сакина, И. А. Ратникова, Н. Н. Гаврилова, Н. Ю. Гармаш, А. И. Бастраков, А. А. Козлова // Известия РАН. Серия Биол. – 2018. – № 1. – С. 55–59.
4. Optimizing Supercritical Fluid Extraction of Usnic Acid from the Lichen Species *Usnea subfloridana* / T. A. Boitsova, O. S. Brovko, A. D. Ivakhnov, D. V. Zhiltsov // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2020. – N 14. – P. 1135–1141.
5. Isolation of chitin-containing complexes from the thallus of the lichen species *Peltigera aphthosa* / O. S. Brovko, A. D. Ivakhnov, D. V. Zhiltsov, T. A. Boitsova // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2022. – Vol. 16, N 8. – P. 1332–1340.

НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ ЛИХЕНОБИОТЫ ЗАКАЗНИКА «ЛИСИНСКИЙ» (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Ж.О. Жолобова, Д.Е. Гимельбрант, И.С. Степанчикова, А.А. Родионова, А.С. Зуева
Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9
e-mail: zhannolobova@mail.ru

SOME FEATURES OF LICHEN BIOTA OF THE «LISINSKY» PROTECTED AREA (LENINGRAD REGION)

Zh.O. Zholobova, D.E. Himelbrant, I.S. Stepanchikova, A.A. Rodionova, A.S. Zueva
Saint Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034 Russia
e-mail: zhannolobova@mail.ru

Государственный природный комплексный заказник «Лисинский», основанный в 1976 г. [1], называют колыбелью русского лесоводства. Уже очень давно он является полигоном для исследований в области целого ряда естественных наук. Заказник занимает площадь 282.6 км² и представляет из себя цельный лесной массив, основную часть которого состав-

ляют еловые и сосновые леса. Территория исследования равнинная, без скальных обнажений. В основе её лежит бывшее дно озёрно-ледникового бассейна, сложенное валунными суглинками и ленточными глинами, что объясняет достаточно заболоченный характер местности.

Ранее лишенобиоту заказника подробно не изучали. Единственная публикация Н.В. Малышевой, вышедшая в 1995 г. [2], содержит данные о 55 видах лишайников (в современном понимании), найденных на территории местного дендрария. В большинстве своём это широко распространённые эпифиты.

Полевые исследования лишенобиоты заказника «Лисинский» проведены авторами в 2022 и 2023 гг. Было заложено 59 основных пробных площадей и 14 дополнительных. На основе наших данных, а также данных Н.В. Малышевой [2], был составлен аннотированный список лишайников и родственных им грибов заказника, включающий 296 видов, из которых лишайники – 268 видов, 19 видов – лишенофильные грибы, 9 видов сапротрофные грибы. При этом нами выявлено 288 видов. На территории заказника обнаружено 28 специализированных и индикаторных видов биологически ценных лесов, из них 15 включены в Красную книгу Ленинградской области [3], один включён в Красную книгу России [4]. Новым для заказника является 241 вид, из них 6 приводятся для региона впервые. Выявленные виды являются представителями 126 родов лишайников, лишенофильных и сапротрофных грибов из 58 семейств. Наибольшую долю в лишенобиоте заказника составляет семейство *Parmeliaceae*, а ведущими родами являются *Cladonia*, *Lecanora* и *Micarea*.

Для оценки встречаемости видов на территории заказника мы распределили их по 6 классам встречаемости. Большинство видов (198, 68.9 % от выявленной нами лишенобиоты) относятся к редким [R] (вид отмечен на 1-11 ПП (не более чем на 20 % ПП)), из которых 76 (26.4 %) встречаются на территории заказника единично [R1]; 52 вида (18.1 %) были встречены случайно [O] (отмечены на 12-23 ПП (20-40 % ПП)), 17 видов (5.8 %) – часто [F] (отмечены на 24-35 ПП (40-60 % ПП)), а обычными для территории (вид отмечен на 36-47 ПП (60-80 % ПП)) являются 13 видов (4.5 %) [C]. Категорию очень обычный [VC] (встречается на 48-59 ПП (80-100 % ПП)) представляют 7 эпифитных и эпиксильных видов (2.4 %) – *Hypogymnia physodes*, *Platismatia glauca*, *Hypogymnia tubulosa*, *Fuscidea pusilla*, *Parmelia sulcata*, *Lecidea nylanderii* и *Violella fucata*. Преобладание в лишенобиоте редких видов и видов, встреченных единожды, свидетельствует о достаточно высоком видовом разнообразии лишайников и родственных им грибов заказника, а также о хорошей изученности территории.

Наиболее широко представленными эколого-субстратными группам в заказнике являются эпифиты (230 видов, 77.7 %) и эпиксилы (114, 38.5 %), что весьма ожидаемо для чисто лесной территории. Наибольший вклад в разнообразие лишенобиоты вносит кора осины (123 вида, 41.5 %). Такие субстраты, как корневые вывороты (52 вида, 17.5 %), почва (17 видов, 5.7 %) и мхи (15 видов, 5.0 %), представлены незначительным числом видов и не характеризуются высокой специфичностью. Эпилитные сообщества на территории исследования скорее случайны, однако большинство лишайников, отмеченных на камнях (16 видов, 4.4 %), проявляют достаточно высокую специфичность к субстрату. Самыми же специфичными являются виды, обитающие на талломах других лишайников (19, 6.4 %), сапротрофные грибы, отмеченные на смоле хвойных пород (2 вида, 0.6 %) и на плодовом теле трутового гриба (1 вид, 0.3 %).

Самым высоким числом видов лишайников и родственных им грибов представлены ельники (237 видов, 80 % лишенобиоты). В них сохранились участки малонарушенных лесов с участием старовозрастных елей и осин. Такие сообщества характеризуются большим разнообразием лишенобиоты, а охраняемые, индикаторные и специализированные виды БЦЛ отмечены в них в комплексе. Сосняки (138 видов, 46.6 %) и сероольшаники (120 видов, 40.5 %) также представлены значительным числом видов, однако здесь видовое разнообразие лишайников и родственных им грибов значительно беднее, чем в ельниках. Осинники, березняки и смешанные леса с доминированием мелколиственных пород (123 вида, 41.5 %) в основном являются молодыми сообществами в стадии сукцессии на пути к ельникам, возник-

шими на местах нарушений (рубки, пожары). Леса с доминированием липы (59 видов, 19.4 %) и чёрноольшаники (47 видов, 15.8 %) редко встречаются в заказнике. Верховые и переходные болота (68 видов, 22.9 %) заметно уступают по видовому разнообразию лишайников и родственных им грибов основным лесным фитоценозам, что связано отсутствием достаточного разнообразия субстратов и условий для образования разнообразных микроиш, которые так важны для наших объектов.

Для того чтобы выявить основные особенности лишайнобиоты Лисинского заказника в сравнении с сопоставимыми, хорошо обследованными территориями Ленинградской области и Санкт-Петербурга, мы использовали коэффициент сходства Жаккара.

Наибольшее сходство лишайнобиоты заказника Лисинский наблюдается с лишайнобиотой о. Коневец и предполагаемой ООПТ Моторное-Заостровье (табл.). Эти территории объединяет наличие участков малонарушенных старовозрастных ельников, которые вносят существенный вклад в разнообразие лишайнобиоты. Меньше всего по коэффициенту Жаккара лишайнобиота заказника Лисинский схожа с лишайнобиотой о. Мощный. На нём большинство лесов являются вторичными и сильно нарушены, площадь ельников минимальна, а наибольший интерес в плане разнообразия лишайнобиоты представляют дюнные и эпилитные сообщества, которые достаточно сильно отличаются от лесных биоценозов.

Таблица

Общее число видов, число общих видов, площадь и коэффициенты сходства Жаккара для списков видов лишайников и родственных им грибов ряда территорий Ленинградской области и Санкт-Петербурга

| К ₁ \ Общие виды, площадь | Коневец 9.5 км ² | Лисинский 282.6 км ² | Мощный 16 км ² | Моторное 138 км ² | Пухтолова гора, 4 км ² |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Коневец | 445 | 230 | 251 | 326 | 213 |
| Лисинский | 0.45 | 296 | 164 | 240 | 156 |
| Мощный | 0.45 | 0.33 | 358 | 247 | 187 |
| Моторное | 0.57 | 0.47 | 0.44 | 452 | 213 |
| Пухтолова гора | 0.44 | 0.39 | 0.44 | 0.43 | 256 |

В отличие от других территорий в Лисинском заказнике не встречаются моренные валуны, дюнные сообщества и значительные явно антропогенные местообитания, что делает не столь разнообразным набор субстратов и, как следствие, уменьшает список видов лишайников и родственных им грибов. Тем не менее, для равнинного лесного массива лишайнобиота заказника представлена весьма значительным числом видов. Большое количество находок охраняемых видов, а также индикаторных и специализированных видов БЦЛ, встречающихся не только единично, но и в комплексе, подтверждает высокую природоохранную ценность территории и её особую значимость для сохранения местной и региональной лишайнобиоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решение Исполнительного комитета Ленинградского областного совета депутатов трудящихся от 29 марта 1976 г. N 145 «О создании заказников и признании памятниками природы ценных природных объектов на территории Ленинградской области» (с изменениями от 19 декабря 1995 г. и 26 декабря 1996 г.). – https://ooptlo.ru/pdf_prav_act/glebovskoe-boloto/N145_29-03-1976.pdf
2. Малышева, Н. В. Лишайники арборетумов Санкт-Петербурга и его окрестностей / Н. В. Малышева // Ботанический журнал. – 1995. – Т. 80, № 3. – С. 54–64.
3. Красная книга Ленинградской области: Объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. – 2018. – СПб. : Марафон, 2018. – 848 с.

4. Приказ Минприроды РФ от 23.05.2023 N 320 «Об утверждении перечня объектов растительного мира, занесённых в красную книгу Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 21.07.2023 N 74362). <https://minjust.consultant.ru/documents/48550?items=1&page=2>

ЛИХЕНОБИОТА И ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭКОСИСТЕМЕ КРУПНОБУГРИСТОГО БОЛОТА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

С.В. Загирова, М.Н. Мигловец, Т.Н. Пыстина

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: zagirova@ib.komisc.ru*

LICHEN BIOTA AND GREENHOUSE GAS FLUXES IN ECOSYSTEM OF PALSAMIRE IN THE EUROPEAN NORTHEAST OF RUSSIA

S.V. Zagirova, M.N. Miglovets, T.N. Pystina

*Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: zagirova@ib.komisc.ru*

Влияние современного климата на структуру и состояние мерзлых почвогрунтов циркулярной криолитозоны в последние десятилетия связано с увеличением летней температуры и продолжительности вегетационного периода, суммы зимних осадков и глубины снежного покрова [1]. По мнению большинства авторов, температура и уровень болотных вод контролируют круговорот углерода в болотных экосистемах, с потеплением климата в будущем возможны необратимые изменения структуры растительного покрова и экосистемных функций болот, подстилаемых многолетней мерзлотой. Большая неопределенность в прогнозной оценке изменения углеродного цикла болот на территории России в связи с климатическими событиями в текущем столетии обусловлена малым количеством данных наземного мониторинга. Цель настоящей работы состояла в характеристике современного состояния растительного покрова, лишенобиоты и экосистемного обмена CO₂ крупнобугристого болота на европейском северо-востоке России.

Исследования проводили на крупнобугристом болоте крайне северной тайги (урочище Кулицанюр) в Интинском районе Республики Коми с использованием метода микровихревых пульсаций (eddy covariance) в мае-сентябре 2016 и 2017 гг. На исследованном участке болота 44 % площади занимают мерзлотные торфяные бугры высотой 3-4 м, 48.3 % приходится на грядово-мочажинный комплекс. Почвогрунты бугров и мочажин существенно различаются по летнему и зимнему температурному режиму [2]. В мочажинах из-за мощного снежного покрова в зимний период промерзает только лишь поверхность почвы, где фиксируются отрицательные околонулевые температуры. Сухоторфяные почвы на буграх характеризуются более сильным охлаждением зимой и меньшим прогреванием летом, чем почвогрунты мочажин, глубина сезонно-талого слоя в августе достигает 80 см.

Гидротермический режим на мерзлых торфяных буграх способствует сохранению торфяных пятен без растений и формированию полидоминантных кустарничково-лишайниковых и кустарничко-морошково-лишайниковых фитоценозов. На вершине бугров травяно-кустарничковый ярус фитоценозов образован *Ledum palustre*, *Empetrum hermaphroditum*, *Rubus chamaemorus*, *Betula nana*, *Oxycoccus microcarpus*, *Vaccinium vitis-idaea* и *V. uliginosum*, реже *Chamaedaphne calyculata* и *Andromeda polifolia*. В напочвенном покрове доминируют лишайники (ПП более 70 %). Наиболее обильны и постоянны кладонии, особенно *Cladonia uncialis*, *C. amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. randiferina*, *C. stellaris*, *C. coccifera*. Доля остальных лишайников значительно ниже. На нарушенных участках, в местах пучения, а также по склонам бугров обычно преобладают цетрарии (*Flavocetraria cucullata*, *F. nivalis*, *Cetraria nigricans*). Торфяные пятна и растительные остатки заселяют

накипные виды *Anzina carneonivea*, *Ochrolechia frigida*, *Pertusaria dactilina*, *Dibaeis baeomyces*, *Placynthiella icmalea* и др. Всего на буграх на болоте выявлено 37 видов, среди них один охраняемый в Республике Коми вид – *Lichenomphalina hudsoniana*, который встречался в основном на среднезадернованных участках торфяных бугров. Из мхов на буграх произрастают *Polytrichum strictum*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum elongatum* и единичные сфагновые мхи (*Sphagnum fuscum*, *S. compactum* и др.).

В олиготрофной части болота на грядах отмечены кустарничково-морошково-сфагновые сообщества, в которых доминируют *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum hermaphroditum*, *Rubus chamaemorus*, *Sphagnum fuscum*. В травяно-сфагновых сообществах мочажин преобладают травы *Eriophorum russeolum*, *Carex limosa*, *C. rotundata* и мхи *Sphagnum lindbergii*, *S. riparium*.

Для оценки фитомассы растений и лишайников на крупнобугристом болоте использовали метод монолитов, отбирали по 5-7 образцов на основных элементах рельефа. Удельный поток CO_2 с поверхности микроландшафта в атмосферу измеряли газоанализатором GGA-30p (Los Gatos Research, США) с использованием тёмной камеры и рассчитывали по уравнению идеального газа. Экосистемный обмен CO_2 между болотом и приземной атмосферой изучали методом микровихревых пульсаций. Система для измерений включала акустический анемометр для измерения скорости ветра в трех проекциях (Gill Wind Master Gill Instruments Ltd., Великобритания) и газоанализатор (Li-7500, Li-Cor Inc., США), установленные на высоте 3.23 м от поверхности торфяного бугра. Микроклиматические параметры регистрировали автоматической метеостанцией (Campbell Scientific Inc., США), установленной в непосредственной близости от газометрической системы.

Кустарничково-лишайниковые сообщества на торфяных буграх исследуемого болота, также как и кустарничково-морошково-сфагновые сообщества на грядах, характеризовались наибольшим запасом фитомассы (2-4 кг м⁻²), доля лишайников в них достигала 20 %. Ранее установлено, что на крупнобугристом болоте лишайниковые и кустарничково-лишайниковые сообщества отличаются от других фитоценозов минимальной эмиссией метана [3]. В соответствии с увеличением скорости поступления CO_2 в приземный слой атмосферы, элементы ландшафта этого типа болот распределились в следующей последовательности: оголенное торфяное пятно → лишайниковое сообщество на торфяном бугре → травяно-сфагновая мочажина → кустарничково-лишайниковое на бугре → кустарничково-морошково-сфагновая гряда.

В экосистеме крупнобугристого болота сезонный ход нетто-обмена CO_2 (*NEE*) соответствовал изменению температурного режима. В мае болото являлось источником диоксида углерода в атмосферу, переключение на нетто-поглощение CO_2 наблюдали при температуре поверхности почвы бугра +5 °С. Максимальные среднесуточные значения *NEE* отмечены в конце июня-июле (-0.13...-0.14 мг CO_2 м⁻²с⁻¹), в августе наметилась тенденция к снижению скорости нетто-обмена, а в начале сентября экосистема переключалась со стока на эмиссию CO_2 . Суммарное значение *NEE* определялось продолжительностью вегетационного периода и составило в 2016 г. -325, а 2017 г. -289 г CO_2 м⁻². Кумулятивное экосистемное дыхание (*R_{eco}*) в эти годы соответствовало 1131 и 960 г CO_2 м⁻². На исследованном болоте суммарная эмиссия метана в период вегетации достигает 11.4±3.3 г CH_4 м⁻² [3], что составляет менее 5 % суммарных потерь углерода с экосистемным дыханием.

Таким образом, на крупнобугристом болоте в период вегетации значительный вклад в экосистемный обмен CO_2 вносят кустарничково-лишайниковые сообщества на мёрзлых торфяных буграх и кустарничково-морошково-сфагновые на грядах, которые отличаются высоким запасом фитомассы. Однако, фитоценозы с участием лишайников по скорости эмиссии метана уступают сообществам грядово-мочажинного комплекса.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ рег. 122040100031-8).

ЛИТЕРАТУРА

1. The changing thermal state of permafrost / S. L. Smith, H. B. O'Neill, K. Isaksen, J. Noetzli, V. E. Romanovsky // *Nature Reviews Earth Environment*. – 2022. – Vol. 3. – P. 10–23.
2. Каверин, Д. А. Температурное состояние почвогрунтов бугристо-мочажинных болот в зоне редкоостровного распространения многолетнемерзлых пород (Европейский Северо-Восток России) / Д. А. Каверин, А. В. Пастухов // *Криосфера Земли*. – 2018. – № 5. – С. 47–56.
3. Загирова, С. В. Оценка потоков метана в экосистеме крупнобугристого болота подзоны крайнесеверной тайги на европейском Северо-Востоке России (по результатам двух методов измерений) / С. В. Загирова, М. Н. Мигловец, С. В. Якубенко // *Сибирский экологический журнал*. – 2023. – № 2. – С. 136–147.

ОБЗОР ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЛИХЕНОБИОТЫ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

А.С. Зуева¹, С.В. Чесноков¹, Л.А. Конорева^{1,2}

¹*Ботанический институт имени В.Л. Комарова Российской академии наук,
197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2, литера В*

²*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН,
184256, Кировск, ул. Ботанический сад, д. 8
e-mail: annazueva5@gmail.com*

REVIEW OF THE HISTORY OF THE STUDY OF THE KURIL LICHEN BIOTA

A.S. Zueva¹, S.V. Chesnokov¹, L.A. Konoreva^{1,2}

¹*Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
2 Prof. Popov St., litera V, St. Petersburg, 197022 Russia*

²*Avrurin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of Kola Scientific Centre
of the Russian Academy of Sciences, 8 Botanical Garden St., Kirovsk, 184256 Russia
e-mail: annazueva5@gmail.com*

Курильские острова – уникальная территория Дальнего Востока России, на протяжении многих лет привлекающая исследователей. Причина тому – не только экзотическая природа Дальнего Востока, изобилующая эндемиками, но и географическое расположение Курильской гряды, соединяющей два богатейших флористических региона мира – восточноазиатский на юге с циркумбореальным на севере [1]. Будучи вытянутой с севера на юг, эта островная гряда является уникальной природной трансектой – переходом от субтропических сообществ к бореальным и тундровым. Именно поэтому, несмотря на труднодоступность и сложные погодные условия, учёные на протяжении многих лет стремятся на острова. Лихенологи – не исключение. История изучения лишайников Курильских о-вов насчитывает немногим более 100 лет, и в неё внесли значительный вклад учёные из разных стран. В настоящей работе кратко освещена история изучения этой уникальной территории и обобщены опубликованные данные о видовом разнообразии лишайников островов Курильской гряды.

Исторически, Курильские о-ва были труднодоступны для посещения в связи со своим расположением, суровыми погодными условиями и политической изоляцией. Так, разногласия о принадлежности Курильских о-вов помешали России и Японии подписать мир после Второй мировой войны. Долгое время Курильские о-ва оставались стратегическим военным постом, и лишь в конце XX века были открыты для посещения учёными и путешественниками из разных стран [1]. Тем не менее, фрагментарное изучение лишайнобиоты Курил происходило и ранее, главным образом, специалистами-лихенологами из Японии (в довоенное время) и России (в послевоенное).

Впервые лишайнологические исследования на этом архипелаге были проведены в 1923 г. А. Yasuda. На северных и средних курильских островах коллекция лишайников была

собрана Y. Okada и M. Endô. Результаты обработки этих сборов отражены в публикациях Y. Asahina и M. Satô [2]. Затем, в промежутке от конца войны до 1994 г., было издано несколько разнонаправленных работ по лишайникам Курильских о-вов, опирающихся главным образом на сборы русских исследователей – Л.И. Бредкиной, А.В. Домбровской, А.Н. Титова, К.А. Рассединой, Г.Э. Инсарова, А.В. Пчёлкина и других. В 1994 г. смешанной командой из русских, японских и американских биологов был создан Международный Курильский Проект. В рамках этого проекта в течение следующих семи лет происходило интенсивное изучение Курильской биоты, в том числе лишайников. Впервые были целенаправленно и подробно изучены не только исторически заселённые крупные острова, но и нежилые острова небольшого размера. По материалам сборов тех лет были опубликованы многочисленные работы русских и зарубежных авторов – С.И. Чабаненко, А.В. Домбровской, А.А. Добрыша, T. Randle, J. Hafellner, S. Joneson. Большая часть известных к 2002 г. данных о лишайнобиоте Курильских о-вов была включена в работу С.И. Чабаненко по флоре лишайников юга российского Дальнего Востока [3].

В настоящее время лишайнобиота Курильских о-вов активно изучается многими специалистами. Среди них А.К. Ёжкин, И.А. Галанина, Е.В. Давыдов и авторы данных тезисов. В результате работы с собственными сборами и сборами коллег со смежных специальностей (Е.А. Глазкова, Е.А. Аристархова), происходит планомерное пополнение списка лишайнобиоты Курильской гряды. В 2019 г. была издана Красная книга Сахалинской области, в которую вошли 27 видов лишайников, встречающихся на Курильских о-вах. Но, несмотря на значительно возросший за последние годы объём знаний о лишайниках этой территории, многие острова (Онекотан, Броутон, Ушишир и другие) по-прежнему остаются практически неизученными. Отсутствуют также современные обобщающие работы по лишайникам Курильской гряды, равно как и по большинству её островов.

По литературным данным, на сегодняшний день для о-ва Парамушир известно 190 видов лишайников, Итурупа – 223 вида, Кунашира – около 373 видов, Шикотана – 278 видов [4]. Хуже обстоит дело с небольшими островами Курильской гряды, где отсутствует постоянное население и регулярный транспорт. Так, для Симушира известно 14 видов, Шумшу – 9 видов, Урупа – 2 вида, Чирпоя – 11 видов [5], для о-ва Атласова – 4 вида, Онекотана – 2 вида, для о-вов Матуа, Ушишир, Харимкотан и Юрия – по одному виду [1]. Лишайнобиота остальных островов, таких как Броутон, брат Чирпоев, Кетой, Расшуа, Макрануши, Анциферова и многих других, остаётся совершенно не изученной.

Видовое разнообразие лишайников крупных островов, несмотря на обилие данных, также выявлено далеко не полностью. Так, южная часть Парамушира остаётся полностью неисследованной лишайнологами, и даже для таких давно и равномерно изучаемых островов, как Кунашир и Шикотан, продолжают появляться новые виды. Это говорит о том, что на настоящий момент кривая выявления видов не вышла на плато, и исследователи далеки от знания полного разнообразия лишайников этих интереснейших территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ramalina of the Kuril Islands / S. Joneson, H. Kashiwadani, S. Tschabanenko, S. Gage // *The Bryologist*. – 2004. – Vol. 107, N 1. – P. 98–106.
2. Satô, M. Notes on the lichen flora of Tisima or the Kuriles / M. Satô // *Botanical Magazine*. – 1936. – Vol. 50, N 599. – P. 610–617.
3. Чабаненко, С. И. Конспект флоры лишайников юга российского Дальнего Востока / С. И. Чабаненко // Владивосток, Дальнаука. – 2002. – 232 с.
4. Chesnokov, S. V. Checklist of lichens of Shikotan Island (Southern Kuril Islands, Russian Far East) / S. V. Chesnokov, L. A. Konoreva // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. – 2022. – Vol. 56, N 2. – P. 413–439.
5. Glazkova, E. A. To study of the lichen biota of Chirpoi Island (Sakhalin Region, Kuril Islands) / E. A. Glazkova, L. A. Konoreva, S. V. Chesnokov // *Bulluten Botanicheskogo sada-institutu DVO RAN*. – 2023. – Vol. 30. – P. 1–9.

ЭПИФИТНЫЕ ЛИШАЙНИКИ САМУРСКОГО ЛЕСА (ВОСТОЧНЫЙ КАВКАЗ): ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, РЕДКИЕ ВИДЫ

А.Б. Исмаилов

Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45
e-mail: i.aziz@mail.ru

EPHRYTIC LICHENS OF THE SAMUR FOREST (EASTERN CAUCASUS): TAXONOMIC STRUCTURE AND RARE SPECIES

A.B. Ismailov

Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of RAS,
45 M. Gadzhieva St., Makhachkala, 367000 Russia
e-mail: i.aziz@mail.ru

Самурский лиановый лес произрастает на юге Дагестана в пределах кластера «Дельта Самура» Национального парка «Самурский». Кластер объединяет большую часть дельты реки Самур и прилегающую акваторию Каспийского моря. Площадь охраняемой территории около 10 тыс. га. Леса сформированы грабовыми, дубово-грабовыми, тополевыми массивами, с участием вяза, клена, ольхи, боярышника. Отличительной особенностью Самурского леса являются лианы, которые обильно встречаются на открытых участках (*Humulus lupulus*, *Clematis orientalis*, *Lonicera caprifolium*, *Smilax excelsa*) или под пологом леса на стволах деревьев (*Clematis vitalba*, *Hedera pastuchowii*, *Periploca graeca*, *Vitis sylvestris*).

Разнообразие эпифитной лишенобиоты (включая виды-эпиксилы, лишенофильные и систематически близкие нелихенизированные грибы) на данном этапе исследований представлено 160 видами. С учетом последних таксономических изменений [1] они относятся к 89 родам из 35 семейств. Большая часть видов (121 вид) и родов (61 род) входят в состав 14 семейств, образующих ядро лишенобиоты: *Ramalinaceae* (20 видов, 7 родов), *Lecanoraceae* (15/6), *Physciaceae* (13/6), *Teloschistaceae* (11/7), *Arthoniaceae* (10/7), *Parmeliaceae* (8/7), *Cladoniaceae* (6/1), *Pilocarpaceae* (6/1), *Roccellaceae* (6/5), *Caliciaceae* (5/4), *Candelariaceae* (5/2), *Coniocybaseae* (5/2), *Monoblastiaceae* (4/2), *Pyrenulaceae* (4/1). Данный спектр семейств отличается изученные местообитания от других лесных массивов Дагестана прежде всего присутствием в числе ведущих теплолюбивых видов из класса *Arthoniomycetes* (например, виды семейства *Arthoniaceae*, *Roccellaceae*); во-вторых, разнообразием накипных лишайников в семействе *Ramalinaceae* (например, *Bacidia*, *Bacidina*, *Lecania*, *Scutula*, *Toniniopsis*).

Спектр ведущих родов объединяет 65 видов от общего числа выявленных: *Cladonia*, *Micarea* – по 6 видов, *Bacidia*, *Lecania* – 5, *Arthonia*, *Candelariella*, *Chaenotheca*, *Lecidella*, *Physcia*, *Pyrenula*, *Ramalina* – 4, *Athallia*, *Bacidina*, *Caloplaca*, *Opegrapha*, *Physconia* – 3.

Наряду с распространенными эпифитными лишайниками (например, *Acrocordia gemmata*, *Alyxoria varia*, *Anisomeridium biforme*, *Arthonia atra*, *Arthothelium spectabile*, *Athallia pyracea*, *Bacidia rubella*, *Bacidina phacodes*, *Enterographa crassa*, *Graphis scripta*, *Lecaniana egelii*, *Lecanora carpineae*, *Lecidella laureri*, *Opegrapha vermicellifera*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Phlyctis agelaeae*, *Pseudosagedia aenea*, *Pyrenula chlorospila*) в изученном местообитании произрастают редкие для региона виды. Например, 57 эпифитов, включая представителей из 11 родов (*Arthothelium*, *Vactrospora*, *Coniocarpon*, *Dendrographa*, *Diarthonis*, *Diploicia*, *Enterographa*, *Inoderma*, *Lecanographa*, *Pachnolepia*, *Sclerophora*), отмечены только в Самурском лесу. В их числе 6 видов (*Chaenotheca hispidula*, *Coniocarpon cinnabarinum*, *Enterographa hutchinsiae*, *Inoderma byssaceum*, *Lecanographa lyncea*, *Sclerophora farinacea*), охраняемых на региональном уровне [2]. В семействе *Roccellaceae* большая часть видов (5 из 7 известных в Дагестане) встречается только в Самурском лесу. Среди них средиземноморский вид *Dirina ceratoniae*, для которого указанное местообитание единственно известное в России и на Большом Кавказе [3]. То же относится к средиземноморско-атлантическому виду *Ramalina*

lacera, известному в пределах Восточного Кавказа только по двум локалитетам из Самурского леса [4].

Исследование проведено при поддержке гранта РФФ (№ 23-24-00335).

ЛИТЕРАТУРА

1. Outline of Fungi and fungus-like taxa / N. N. Wijayawardene, K. D. Hyde, L. K. T. Al-Ani, L. Tedersoo, Haelewaters D. et al. // *Mycosphere*. – 2020. – Vol. 11. – P. 1060–1456.
2. Красная книга Республики Дагестан. – Махачкала. – 2020. – 800 с.
3. Ismailov, A. B. *Dirina ceratoniae* (Arthoniales, Ascomycota): first record from Russia / A. B. Ismailov, S. V. Volobuev // *Turczaninowia*. – 2022. – Vol. 25, N 3. – P. 189–193.
4. Ismailov, A. B. New records of the genus *Ramalina* (Lecanorales, Ascomycota) in Dagestan with a key to species / A. B. Ismailov, S. V. Volobuev, O. A. Kataeva // *Turczaninowia*. – 2023. – Vol. 26, N 4. – P. 31–38.

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РЕДКИХ ВИДАХ ЛИШАЙНИКОВ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.В. Кондакова

*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
150000, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14
e-mail: gvkondakova@mail.ru*

NEW INFORMATION ABOUT RARE SPECIES OF LICHENS OF THE YAROSLAVL REGION

G.V. Kondakova

*Demidov Yaroslavl' State University, 14 Sovetskaya St., Yaroslavl, 150000 Russia
e-mail: gvkondakova@mail.ru*

Основные результаты лихенологических исследований в Ярославской области (ЯО) изложены в ряде публикаций, список лихенобиоты ЯО на сегодняшний день включает 305 видов лишайников и близких к ним сапротрофных грибов, традиционно анализируемых в лихенологических списках [1 и др.]. Среди лишайников, отмеченных в области, есть такие, которые до сих пор были известны для ЯО только по литературным данным, либо по единичным находкам. К ним относятся, в частности, два вида рода *Ramalina* – *R. dilacerata* (Hoffm.) Hoffm. и *R. farinacea* (L.) Ach.

Упоминание о виде *R. dilacerata* для ЯО имелось до сих пор лишь в работе А.А. Еленкина (1906-1911) [2]. В 2019 г. этот вид был обнаружен нами в Угличском районе, на территории биологического стационара «Улейма» Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова (ЯрГУ). 57°42'446" N; 38°34'964" E, сосняк с березой, на корке сосны, 05.VII 2019, leg. et det. Кондакова Г.В. Данная находка является единственной современной для ЯО, образец хранится в гербарии ЯрГУ (YAR).

Собранный образец имеет кустистый таллом 0.7 см длиной и 1.5 см шириной, слегка повисающий, серовато-зелёного цвета, одинаково окрашенный с обеих сторон, дихотомически или неправильно разветвлённый. Лопасты блестящие, уплощённые с притуплёнными верхушками, до 1 мм шириной, полые, с вытянутыми или округлыми перфорациями, без вегетативных пропагул, с апотециями. Апотеции верхушечные, многочисленные, 0.5-1 мм в диаметре. Диск апотециев бледно-жёлтый с беловатым налётом, край тонкий, цельный.

Вид включён в региональные Красные книги (КК) сопредельных областей – Вологодской (2004), Московской (2018), Тверской (2016), отмечен в Костромской области без охранного статуса [3]. В России встречается в северной и центральной части Европейской России, Западной и Восточной Сибири, на Алтае.

Ещё один вид из этого рода – *R. farinacea*, также впервые был упомянут для ЯО А.А. Еленкиным [2]. Несколько современных находок известны на охраняемых территориях

области – в Дарвинском государственном природном биосферном заповеднике (Мучник и др. 2009) и ПП «Парк с. Владычного» (Красняник, Лазарева, 2022). Нами вид был обнаружен, как и предыдущий, в Угличском районе, на территории биостанции «Улейма» ЯрГУ, 57°42'278" N; 38°35'544" E, ельник с берёзой, на ветке рябины, 14.VII 2015, leg. etdet. Кондакова Г.В. Образец хранится в гербарии ЯрГУ (YAR).

Собранный образец имеет кустистый таллом, торчащий, до 2 см длиной, дихотомически разветвлённый от самого основания. Лопасты до 2 мм шириной, уплощённые или местами слегка вздутые, серовато-зеленоватые, одного цвета с обеих сторон, на концах глубоко вильчато разветвлённые, с острыми вершинками. Поверхность лопастей желобчатая, матовая или более-менее блестящая. Соралии по краям лопастей, немногочисленные. Образец без апотециев.

Вид также включён в КК Вологодской (2004) и Московской (2018) областей, отмечен во Владимирской (редко)[4], Тверской (спорадически) [5] и Костромской [3] областях без охранного статуса. В России распространение вида связано с широколиственными и смешанными лесами.

Оба вида чувствительны к загрязнению воздушной среды, лимитирующими факторами являются также вырубка старовозрастных древостоев, сокращение площади старых парков. На основании многолетних исследований лишенобиоты ЯО и анализа встречаемости этих видов на территории области рекомендуется включение вида *R. dilacerata* в новое издание Красной книги ЯО. Необходим поиск новых и охрана выявленных местообитаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые и редкие лишенологические находки в Ярославской области (Центральная Россия) / Е. Э. Мучник, Г. В. Кондакова, Л. А. Конорева, А. Г. Пауков // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. – 2018. – № 1. – С. 171–182.
2. Еленкин, А. А. Флора лишайников Средней России. Ч. 1–4 / А. А. Еленкин. – Юрьев, 1906–1911. – 682 с.
3. Урбанавичене, И. Н. К лишенофлоре Мантуровского кластера заповедника «Кологривский лес» (Костромская область, Россия) / И. Н. Урбанавичене, Г. П. Урбанавичюс // Новости систематики низших растений. – 2023. – Т. 57, № 1. – С. 83–105.
4. Конспект лишайников Дарвинского государственного природного биосферного заповедника (Вологодская и Ярославская области, Россия) / Е. Э. Мучник, Л. А. Конорева, А. А. Добрыш, И. И. Макарова, А. Н. Титов // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Биология и экология». – 2009. – Вып. 14, № 18. – С. 174–194.
5. Красняник, О. В. Лишенобиота памятника природы «Парк с. Владычного» и его окрестностей (Пошехонский район, Ярославская область) / О. В. Красняник, О. Л. Лазарева // Естествознание: исследования и обучение : материалы научно-практической конференции «Чтения Ушинского» / под научной редакцией К. Е. Безух. – Ярославль : РИО ЯГПУ, 2022. – С. 148–162 с.
6. Жданов, И. С. Материалы к лишенофлоре Мещёрской низменности (в пределах Владимирской и Рязанской областей) / И. С. Жданов, Л. Ф. Волоснова // Новости систематики низших растений. – 2012. – Т. 46. – С. 145 – 160.
7. Нотов, А. А. Аннотированный список лишенофлоры Тверской области / А. А. Нотов, Д. Е. Гимельбрант, Г. П. Урбанавичюс. – Тверь : Твер. гос. ун-т, 2011. – 124 с.

МАСЛОВА В.Р. – ВЕДУЩИЙ ЛИХЕНОЛОГ ДОНБАССА

Т.М. Косогова, С.Н. Несторенко, Л.В. Королецкая

*Луганский государственный педагогический университет, 348011, г. Луганск, ул. Оборонная, д. 2
e-mail: inbotanlit87@list.ru*

MASLOVA V.R. – LEADING LICHENOLOGIST OF DONBASS

T.M. Kosogova, S.N. Nestorenko, L.V. Koroletskaya

*Lugansk State Pedagogical University, 2 Oboronnaya St., Lugansk, 348011 Russia
e-mail: inbotanlit87@list.ru*

В России с конца XIX в. усиливаются цитологические, физиологические и биохимические исследования лишайников, а в 20-х годах XX века – их география, взаимоотношения гриба и водоросли. Экологии и географии лишайников в то время посвящены работы А.А. Еленкина, А.Н. Данилова, В.П. Савича, К.С. Мережковского, М.П. Томина, А.Н. Окснера и др. [1].

В.Р. Маслова (1940-2017 гг.) – представитель школы лишайников А.Н. Окснера. Родилась Валентина Романовна 25 декабря 1940 г. в селе Марковка Луганской области. Высшее образование получила в Луганском государственном педагогическом институте им. Т.Г. Шевченко (ЛГПИ) (естественно-географический факультет), который окончила в 1966 г. После окончания вуза назначена на должность ассистента кафедры ботаники и основ сельскохозяйственного производства ЛГПИ (основание: направление Министерства просвещения УССР).

В 1972 г. закончила аспирантуру при Институте ботаники им. Н.Г. Холодного АН УССР (лаборатория лишайников) под руководством чл.-корр. АН УССР, директора Института ботаники А.Н. Окснера [2, 3].

А.Н. Окснер принадлежал к числу замечательных широкообразованных советских ученых, оказавших большое влияние на развитие различных разделов ботаники. Деятельность Окснера – это целая эпоха в отечественной лишайнологии, в развитии смежных областей изучения низших растений на Украине [1].

К.М. Сытник, О.Б. Блюм [1] характеризуют монографическую работу Окснера «Определитель лишайников СССР, в. 2. Общая часть. Морфология, систематика и географическое распространение» следующим образом: «Написанный как введение к многотомному изданию, этот труд далеко выходит за рамки своего специального назначения. По существу он представляет собой фундаментальный курс лишайнологии, в котором обобщены и критически осмыслены важнейшие данные по указанным вопросам, накопленные за всю историю развития лишайнологии. По широте охвата, полноте сведений и глубине анализа эта работа сегодня не имеет себе равных в лишайнологической литературе. А.Н. Окснер по праву являлся признанным лидером советской лишайнологии. Его многогранная научная деятельность, отличающаяся широтой решаемых проблем, нередко выходящих далеко за пределы его основной специальности, безусловно, оказала влияние и на развитие отечественной ботаники в целом, в частности географии растений. В честь А.Н. Окснера описано много споровых растений, главным образом лишайников, как например, *Porina oxneri* Sant., *Lecanora oxneri* Cretz., *Melaspilea oxneri* Makar., *Aspicilia oxneriana* Blum, *Physcia oxneri* Inasch., *Haematomma oxneri* Vodop., *Endopyrenium oxneri* Akram. и др.» [1].

В 1974 г. В.Р. Маслова защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук на тему «Флора лишайников Западного Полесья», основной задачей которой было установление видового состава лишайников Западного Полесья, изучение основных закономерностей размещения лишайников в различных местообитаниях; изучение основных лишайниковых синузий, их связи с условиями произрастания и др. 26 марта 1974 г. решением Совета Института ботаники им. Н.Г. Холодного АН УССР В.Р. Масловой присуждена ученая степень кандидата биологических наук.

С 1966 по 1999 гг. Валентина Романовна работала в ЛГПИ ассистентом, старшим преподавателем, доцентом кафедры ботаники. Решением ВАК при Совете Министров СССР от 16 июля 1980 г. ей присвоено ученое звание доцента по кафедре ботаники [1].

В 1973 г. ею был описан новый для науки вид лишайника *Catillaria mikrospora* Maslova sp. nov. Студенты естественно-географического факультета ЛГПИ, школьники-члены Малой академии наук (Н. Червякова, С. Рыбников, О. Паненко, К. Губский, Д. Ткачев и др.) под руководством В.Р. Масловой выполняли исследования по изучению видового состава лишайников Луганской области и города Луганска. Результаты работы были доложены ими на конкурсах МАН (г. Киев). С.Р. Рыбников (в последующем канд. педагогических наук) в 1994 г., Д.А. Ткачев – в 1998 г. являются победителями конкурса научных работ школьников-членов МАН Украины.

Результаты исследования лишенолог В.Р. Маслова и ее дипломница Н.И. Червякова (в последующем канд. педагогических наук) в 1995 г. обобщили следующим образом – лишенофлора г. Луганска представлена 12 видами лишайников преимущественно накипных и листоватых форм; более устойчивыми к загрязнению атмосферного воздуха оказались некоторые листоватые лишайники – *Parmelia sulcata*, *Evernia prunastri*, более чувствительными – накипные формы лишайников, которые раньше отличались высокой степенью покрытия, а в настоящее время исчезли из лишенофлоры г. Луганска. К ним относятся *Placolecanora muralis*, *Caloplaca decipiens*, *Acarospora fuscata*, *Aspicilia calcarea*.

Основные труды В.Р. Масловой

1. Маслова, В. Р. Интересные находки малоизвестных лишайников в Западном Полесье / В. Р. Маслова // Укр. бот. журнал. – 1972. – № 29. – С. 4.
2. Маслова, В. Р. Закономерности размещения лишайников в Западном Полесье / В.Р. Маслова // Укр. бот. журнал. – 1972. – № 29. – С. 5.
3. Маслова, В. Р. Новый вид лишайника *Catillaria mikrospora* Maslova sp. nov. / В. Р. Маслова // Укр. бот. журнал. – 1973. – № 30. – С. – 5.
4. Маслова, В. Р. Флора лишайников Западного Полесья УССР / В. Р. Маслова. – Автореф. на соискание ученой степени канд. биол. наук. – Киев, 1973.
5. Поширення хімічних рас лишайників *Pseudevernia furfuraceae* (L.) Zopf. на Україні // Укр. бот. журнал. – 1971.– Т. 28, № 3. – С. 305–308.
6. Новые для Украины и Советского Союза виды лишайников из Западного Полесья // Укр. бот. журнал. – 1974. – Т. 31, № 1. – С. 117–119.
7. Маслова, В. Р. Лишенофлора Провальской степи / В. Р. Маслова // Интродукция и акклиматизация растений на Украине. – Киев, 1979. – Вып. 15. – С. 51–54.
8. Лишенофлора города Луганска / С. Рыбников, К. Губский, В.Р. Маслова, Т. М. Косогова // Материалы международной научно-практической конференции «Университет и регион». – Луганск : Изд-во Восточнoукраинского университета, 1997. – С. 180.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сытник, К. М. Памяти Альфреда Николаевича Окснера (1898-1973) / К.М. Сытник, О. Б. Блюм // Ботанический журнал. – 1976. – Т. 61, № 2. – С. 276–284.
2. Архивное дело ВГПИ. – Август 1966 г. – 70 листов.
3. Факультет природничих наук: шляхами зростання (до 90-річчя заснування) / за ред. В. Д. Дяченка, О. О. Кисильової, А. О. Климова. – Луганськ : Елтон-2, 2013. – 365 с.

РОСТ ДИАМЕТРА ЭПИЛИТНОГО ЛИШАЙНИКА *PROTOPARMELIOPSIS MURALIS* (SCHREB.) M. CHOISY. В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

А.А. Курбатов¹, А.В. Сони́на²

¹Научно-исследовательский институт биологии КарНЦ РАН,
185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11; e-mail: arkadiy1416@gmail.com

²Институт биологии, экологии и агротехнологий Петрозаводского государственного университета, 185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33; e-mail: angella_sonina@mail.ru

THE GROWTH OF THE DIAMETER OF *PROTOPARMELIOPSIS MURALIS* (SCHREB.) M. CHOISY. IN THE CONDITIONS OF SOUTH KARELIA

A.A. Kurbatov¹, A.V. Sonina²

¹Scientific Research Institute of Biology, Karelian Science Center, Russian Academy of Sciences,
11 Pushkin St., Petrozavodsk, 185910 Russia; e-mail: arkadiy1416@gmail.com

²Institute of Biology, Ecology, and Agrotechnologies, Petrozavodsk State University,
33 Lenin Ave., Petrozavodsk, 185910 Russia; e-mail: angela_sonina@mail.ru

Изучение роста эпилитного вида лишайника *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy. проведено на территории Государственного природного заповедника «Кивач» (Кондопожский район, Республика Карелия) в условиях среднетаежной подзоны, на диабазовых скальных выходах, в условиях супралиторали побережья реки Суны, в пределах мониторинговых площадок, заложенных в 2007 г. Исследование роста талломов проводилось в течение 11 лет (2007-2018 гг.). За указанный период исследован рост 17-ти талломов *P. muralis*. В качестве показателей, отражающих размер таллома, были использованы площадь (см²) и диаметр (см). Фиксирование площади талломов проводили в полевых условиях в сухую солнечную погоду. На прозрачную полиэтиленовую пленку обводили контуры талломов с использованием лупы (×7-кратное увеличение). В лабораторных условиях контуры сканировали вместе с линейкой, по шкале линейки проводилось масштабирование и измерение площади талломов в программе Autocad. Диаметр талломов измеряли штангенциркулем.

Как показано в работах [1, 2], скорость роста площади талломов достоверно описывается линейными трендами. В то время как прирост диаметра таллома со временем должен нелинейно замедляться. На это указывает зависимость диаметра таллома от площади, построенная по выборке талломов разного размера и скорости роста. Зависимость достоверно описывается степенным трендом: $Y = 1.52972x^{0.43014}$ (рис. 1).

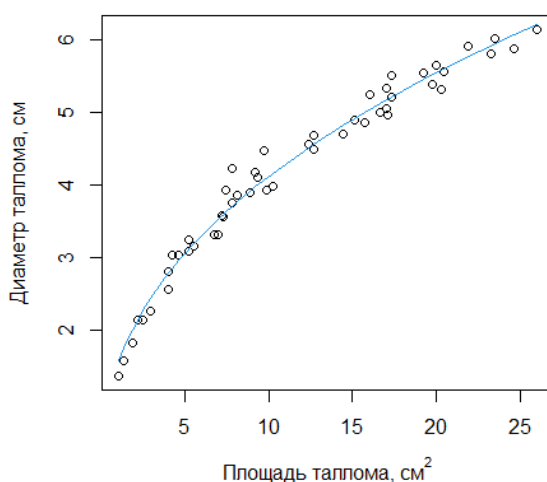


Рис. 1. Зависимость диаметра таллома (см) от его площади (см²)

За период наблюдения (11 лет) талломы демонстрируют отчетливое снижение приростов диаметра по степенному тренду. Со временем рост талломов может замедляться до уровня сотых см/год (рис. 2).

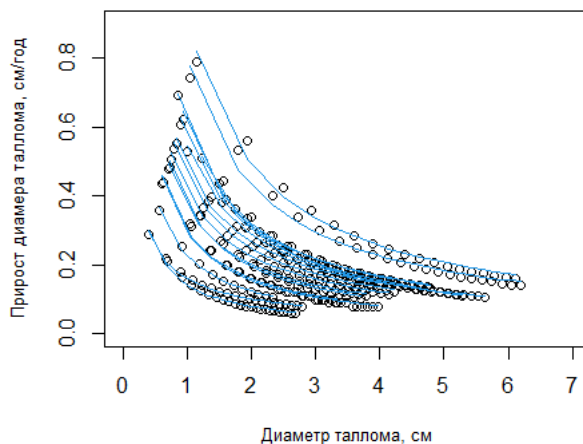


Рис. 2. Зависимость годовых приростов диаметра (см/год) от диаметра таллома (см)

Предположительно рост диаметра в несколько первых лет жизни достигает максимальных значений, что можно считать периодом роста, который в литературе называют долинейной фазой роста. Далее происходит нелинейное снижение годовых приростов (постлинейная фаза роста) диаметра до полной остановки роста, без периода линейного роста.

На основании моделей приростов диаметра построены модели роста, по которым оценен возраст талломов. Возраст изучаемой выборки талломов находится в диапазоне 11...25 лет (рис. 3).

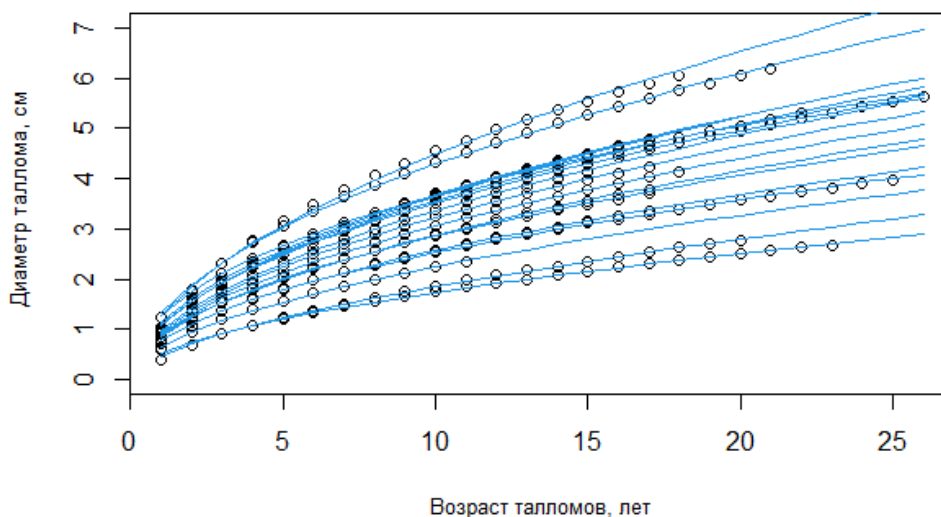


Рис. 3. Зависимость диаметра таллома (см) от его возраста (лет)

ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатов, А. А. Рост и оценка возраста эпилитного лишайника *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy в южной Карелии / А. А. Курбатов, А. В. Сониная // Принципы экологии. ПетрГУ. – 2020. – № 1. – С. 84–94.
2. Курбатов, А. А. Рост эпилитных лишайников в условиях южной Карелии / А. А. Курбатов, А. В. Сониная // Известия РАН. Серия биологическая. – 2023. – № 5. – С. 477–486.

RUSAVSKIA SOREDIATA КАК КОМПОНЕНТ ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА БЕРЕГОВЫХ СКАЛЬНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ДОЛИНЫ Р. ЧУСОВАЯ

Е.А. Лаврская, А.Е. Селиванов

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет»,
614990, г. Пермь, ул. Сибирская, 24
e-mail: ekandr.sh@yandex.ru

RUSAVSKIA SOREDIATA AS A COMPONENT OF LICHEN COVER OF COASTAL ROCKY PHYTOCENOSES OF THE CHUSOVAYA RIVER VALLEY

E.A. Lavrskaya, A.E. Selivanov

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Perm State
Humanitarian Pedagogical University», 24 Sibirskaja St., Perm, 614000 Russia
e-mail: ekandr.sh@yandex.ru

На береговых скальных фитоценозах одним из главных фототрофных компонентов являются лишайники. Многие исследователи отмечают, что свойства субстрата являются важнейшим фактором, влияющим на формирование лишайникового покрова [1, 2]. Мы изучаем и другие характеристики местообитания, такие как, характер рельефа и экспозиция, которые оказывают влияние на лишайниковые сообщества, через перераспределение тепла, влаги, света, создавая разные микроклиматические условия для разных видов лишайников.

Целью работы является выявление закономерностей распределения одного из самых заметных и характерных для района исследований вида *Rusavskia soredata* (Vain.) S.Y. Kondr. & Kärnefelt на береговых скальных обнажениях в долине р. Чусовая.

Материал собран авторами в долине р. Чусовая на участке от с. Кын до г. Чусового. Для изучения скальных фитоценозов закладывали учетные площадки размером 30×30 см. Для каждого описания фиксировали данные об уклоне, экспозиции, наличии нависаний. Площадку фотографировали с мерной линейкой для измерения площади проективного покрытия видов. Для изучения физико-химических характеристик субстрата измеряли удельную влагоемкость образцов и кислотность смывов с них [3]. Определение образцов лишайников проводили в лаборатории биоразнообразия растений и лишайнизированных грибов кафедры биологии и географии ПГГПУ по стандартной методике [4].

При изучении береговых скальных фитоценозов, нами было замечено, что важную роль в сложении лишайникового покрова играют представители семейства *Teloschistaceae*, особенно – *Rusavskia soredata*. В районе исследования этот вид характеризуется наибольшей встречаемостью, он отмечен на 15.46 % описаний (58 из 375). Наибольшее значение встречаемости для вида отмечено на известняковых скалах (17.27 % от всех площадок на этой породе). На других типах субстратов лишайник встречен лишь на 2-4 площадках. Вид преимущественно произрастает на скалах с южной экспозицией (Ю, ЮВ, ЮЗ) на локациях со значением уклона 80° и более.

Именно на известняках *Rusavskia soredata* достигает максимального значения покрытия – 71 %, среднее покрытие составляет 16.05 %. Однако высокие значения покрытия она имеет и на других породах: песчанике и крупнозернистом песчанике на карбонатном цементе (среднее покрытие 10-11.9 %). Величина покрытия вида в большой степени зависит от уклона площадки. Начиная с уклона 110°, среднее значение покрытия вида увеличивается, достигнув максимальных значений при уклоне 135°, с увеличением нависания покрытие вновь уменьшается, а после 150° резко спадает до минимума, что может быть связано с недостатком освещенности. Помимо уклона на проективное покрытие оказывает влияние влагоемкость субстрата. На известняковых скалах среднее значение покрытия максимально при удельной влагоемкости от 1 до 1.5 %, минимально от 1.5 до 2 %. Для песчаника на карбонатном цементе покрытие заметно увеличивается при значениях влагоемкости от 2 до 2.5 % .

На разных по свойствам субстратах *Rusavskia sorediata* создает группировки с разными видами лишайников. На известняках вид встречается вместе с *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy и *Calogaya saxicola* (Hoffm.) Vondrak., на песчаниках и карбонат-содержащих песчаниках с *Physcia caesia* (Hoffm.) Fűrnr. Все эти виды при совместном произрастании на площадках с *Rusavskia sorediata* не достигают высоких значений покрытия.

Таким образом, *Rusavskia sorediata* на исследуемой территории является одним из доминантов лишайникового покрова и встречается на большей части субстратов изученных экосистем. Уклон поверхности, экспозиция, особенности горной породы являются важными факторами, определяющими характер распределения вида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мучник, Е. Э. Эпилитные лишайники Центрального Черноземья / Е. Э. Мучник // Ботанический журнал. – 1997. – Т. 82, № 4. – С. 46–53.
2. Малышева, Н. В. Лишайники Татарии II. Экологическое распределение лишайников по субстратам. Роль субстрата в географическом распределении лишайников / Н. В. Малышева, В. М. Шмидт, Н. С. Голубкова // Вестник Ленинградского государственного университета. Биология. – 1980. – № 15. – С. 45–55.
3. Исследование физико-химических характеристик субстратов эпилитных лишайников / А. Е. Селиванов, К. О. Печенкина, И. А. Лебединский, Е. А. Щипанова // Лишайники от молекул до экосистем : Программа и тезисы докладов Международной конференции. – Сыктывкар, 2019. – С. 75–78.
4. Флора лишайников России: Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников. – М.; СПб., 2014. – 392 с.

ТРАНСКРИПТОМНЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКА *LOBARIA PULMONARIA* НА ОБЕЗВОЖИВАНИЕ И РЕГИДРАТАЦИЮ

И.Ю. Лексин, Ф.В. Минибаева

*Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН,
420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31
e-mail: lecsinilya@mail.ru*

TRANSCRIPTOMIC RESPONSE OF THE LICHEN *LOBARIA PULMONARIA* TO DESICCATION AND REHYDRATION

I.Y. Leksin, F.V. Minibayeva

*Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of the RAS,
2/31 Lobachevsky St., Kazan, 420111 Russia
e-mail: lecsinilya@mail.ru*

Лишайник – симбиотическая ассоциация, в состав которой входят фотобионт и микобионт. Благодаря способности лишайников выдерживать сильные стрессовые воздействия, их относят к организмам-экстремофилам. Среди таких воздействий стоит отметить обезвоживание, которое может приводить к потере более 90 % относительного содержания воды (ОСВ) с сохранением жизнеспособности лишайника. Механизмы устойчивости лишайников включают сохранение воды в талломе, устранение негативных последствий, вызванных обезвоживанием, а также регуляцию стрессового ответа на уровне экспрессии генов. На сегодняшний день опубликовано множество работ по изучению устойчивости лишайников к обезвоживанию на уровне физиологии и биохимии, однако работы по анализу экспрессии генов в лишайниках при стрессовых воздействиях немногочисленны. Настоящая работа посвящена анализу экспрессии генов стрессового ответа лишайника *Lobaria pulmonaria* при обезвоживании и регидратации.

Обезвоживание лишайника *L. pulmonaria* проводили в эксикаторе над силикагелем. В ходе обезвоживания талломов уровень ОСВ снизился до 52 % через 12 ч (D12) и до 13 % через 27 ч (D27), а после регидратации (R) восстановился до 90 %. Образцы для выделения РНК и последующего секвенирования транскриптома были отобраны из гидратированного контроля, через 12 ч и 27 ч обезвоживания и после регидратации в течение 1 ч. Данные, полученные при секвенировании, были использованы для оценки уровней экспрессии генов с использованием биоинформатических программ.

По результатам анализа транскриптомных данных были выявлены дифференциально экспрессированные гены (ДЭГи) в микобионте *L. pulmonaria* и хлоробионте *Symbiochloris reticulata* в ответ на обезвоживание и регидратацию. Обезвоживание привело к изменению экспрессии многих генов у микро- и хлоробионта, при этом их число повышалось с увеличением продолжительности воздействия. Обезвоживание в D12 вызвало изменение сопоставимого числа генов у обоих бионтов – 945 у микобионта и 1270 у хлоробионта. Более длительное обезвоживание (D27) привело к изменению экспрессии у микобионта 2596 ДЭГов, в то время, как у хлоробионта их число слабо изменилось по сравнению с D12 и составило 1582.

Количество дифференциально экспрессированных генов, которые статистически значимо изменялись при обезвоживании и сохраняли изменения при регидратации у микро- и хлоробионта различалось. Изменения экспрессии генов, наблюдавшиеся после D27 и регидратации у микобионта и хлоробионта различались. В случае микобионта из общего числа ДЭГов при регидратации (1262) преобладали ДЭГи (797), отличные от тех, которые изменялись также и при обезвоживании (465). Для хлоробионта наблюдалась противоположная картина: регидратация слабо повлияла на экспрессию генов, поскольку для большинства ДЭГов (835 из 1254) изменения происходили как при обезвоживании в D12 и D27, так и при регидратации, и лишь для 419 ДЭГов изменения происходили только при регидратации. Полного восстановления экспрессии генов хлоробионта до уровня, наблюдаемого в контроле, не происходило. Эти результаты свидетельствуют о большей чувствительности хлоробионта к обезвоживанию лишайника.

Анализ экспрессии генов микобионта по данным РНК-секвенирования показал повышение уровня экспрессии генов, кодирующих ферменты антиоксидантной защиты, шапероны, а также белки системы убиквитинирования и протеолиза при D12 и D27. Среди генов, кодирующих белки-осмосенсоры, были найдены киназа *srk1* и мембранный белок *sho1*, экспрессия которых повышалась при обезвоживании. Кроме того, было выявлено повышение экспрессии гена гидрофобина – белка, образующего на поверхности микобионта и фотобионта водонепроницаемый слой.

Для *S. reticulata* при обезвоживании в D27 наблюдалось подавление экспрессии генов, связанных с функционированием хлоропласта и рибосом. Кроме того, обезвоживание индуцировало повышение экспрессии генов хлоробионта, кодирующих шапероны, белки системы убиквитинирования и протеолиза, а также осмосенсорные протеинкиназы.

Таким образом, механизмы устойчивости лишайника *L. pulmonaria* к обезвоживанию и последующей гидратации включают в себя изменения активности генов как микро-, так и хлоробионта. Эти гены вовлечены в антиоксидантную защиту, осмочувствительность и поддержание нативности белков.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-14-00327.

ЛИШАЙНИКИ НА КАРЬЕРАХ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

И.А. Лиханова, Т.Н. Пыстина, Г.В. Железнова

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: likhanova@ib.komisc.ru

LICHENS IN THE QUARRIES OF THE TUNDRA ZONE IN THE NORTH-EAST OF EUROPEAN RUSSIA

I.A. Likhanova, T.N. Pystina, G.V. Zheleznova

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: likhanova@ib.komisc.ru

Одним из распространённых типов техногенных нарушений и, в том числе, на Крайнем Севере, являются карьеры добычи строительных материалов. Карьеры отличаются большим разнообразием экотопов. Последнему способствует высокий уровень гетерогенности физико-химических свойств абралитов. Роль почвообразующих пород в процессах формирования различных компонентов растительного покрова, в том числе, напочвенного, в техногенных ландшафтах изучена пока недостаточно. Цель данной работы – определить особенности видового состава лишайников на суглинистых, песчаных и гравийно-песчаных отложениях карьеров по добыче строительного песка в сравнении с лишайнофлорой природных сообществ в южной тундре северо-востока европейской части России.

Объекты исследований расположены в окрестностях г. Воркута и приурочены к водоразделу рек Воркута и Сейда (верховья р. Безымянки, ручьев Б. и М. Дозмер-Шор). Изучение видового разнообразия лишайников проведено на выходах суглинистых и гравийно-песчаных отложений карьера «Комсомольский-1» (67°32'33.81" с.ш., 63°46'59.63" в.д.) и песчаных – карьера «Заполярный» (67°29'12.47" с.ш., 63°42'9.37" в.д.). Продолжительность самовосстановительной сукцессии на гравийно-песчаных и суглинистых отложениях составляет ≈58 лет, на песчаных ≈20-33 гг. Фоновые участки расположены в окрестностях изученных карьеров. В 2022-2023 гг. на выбранных участках сделаны геоботанические описания, выполнены физико-химические исследования почв.

Субстраты карьеров близки по свойствам к почвообразующим породам фоновых территорий. Однако в связи с содержанием в них кальцита, их кислотность существенно ниже. Если в фоновых почвах содержание валового СаО не превышает 1-1.5 %, то в суглинистых отложениях параметр составляет около 2 %, песчано-гравийных – от 3 до 5 %, в песчаных – достигает 9 %. Фоновые почвы кислые (рН_{H2O} около 5). В суглинистых абралитах реакция среды близка к нейтральной (рН_{H2O} около 7). Содержание С_{орг} около 0.4 %. В песчаных и гравийно-песчаных абралитах реакция среды слабощелочная (рН_{H2O} около 8), содержание С_{орг} низкое (не более 0.1 %). Суглинистые отложения карьеров и фоновых территорий характеризуются преобладанием фракции крупной пыли (40-60 %). В гравийно-песчаных отложениях значительно количество гравия и гальки (20-40 %) рассеянного в толще мелкозема. В последнем значительно содержание фракций мелкого (50-60 %), крупного и среднего (20-40 %) песка. В песчаных отложениях преобладает фракция мелкого песка (около 80 %).

В окрестностях карьеров на дренированных вершинах и пологих верхних частях склонов с суглинистыми почвами характерны ерниковые лишайниково-моховые тундры. В лишайниково-моховом ярусе, где доминируют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, отмечен 21 таксон лишайников. Максимальное обилие (по 2 балла по шкале Браун-Бланке) отмечено у *Cladonia mitis*, *C. rangiferina*, *Flavocetraria nivalis*, *Stereocaulon paschale*. Обилие остальных (*Cetraria islandica* ssp. *crispiformis*, *Cladonia amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. cornuta*, *C. ectocyna*, *C. fimbriata*, *C. gracilis* ssp. *gracilis*, *C. grayi*, *C. macroceras*, *C. stygia*, *C. subulata*,

C. uncialis, *Nephroma arcticum*, *Peltigera scabrosa*, *P. apthosa*, *Stereocaulon rivulorum*, *S. tomentosum*) невысокое.

На краевых зонах холмов с выходами гравийно-песчаных отложений формируются воронично-лишайниково-ракомитриевые сообщества. Среди мохового покрова из *Racomitrium lanuginosum* отмечен 26 таксон лишайников. Преобладающие виды лишайников: *Flavocetraria cucullata* (2 балла) и *F. nivalis* (3 балла). С незначительным обилием зафиксированы: *Alectoria ochroleuca*, *Cetraria aculeata*, *C. islandica*, *C. islandica* ssp. *crispiformis*, *C. laevigata*, *C. amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. cervicornis*, *C. chlorophaea*, *C. ectocyna*, *C. fimbriata*, *C. rangiferina*, *C. stygia*, *C. subulata*, *C. uncialis*, *Ochrolechia* sp., *Parmelia sulcata*, *Peltigera neckeri*, *P. rufescens*, *Placynthiella icmalea*, *P. uliginosa*, *Stereocaulon alpinum*, *S. glareosum*, *Thamnolia vermicularis*.

На песчаных холмах описаны воронично-лишайниковые тундры. В их лишайниковом покрове зафиксирован 21 таксон. Помимо доминирующих *Flavocetraria cucullata* и *F. nivalis* (по 3 балла каждый), отмечены: *Alecoria nigricans*, *A. ochroleuca*, *Baeomyces placophyllus*, *Cetraria islandica* ssp. *crispiformis*, *C. muricata*, *C. arbuscula*, *C. cariosa*, *C. macroceras*, *C. mitis*, *C. pocillum*, *C. pyxidata*, *C. rangiferina*, *C. subulata*, *Leptogium lichenoides*, *Ochrolechia* sp., *Peltigera extenuata*, *P. rufescens*, *Stereocaulon paschale*, *Thamnolia vermicularis*.

В местах выхода суглинистых пород карьера «Комсомольский-1» в условиях хорошего дренажа формируются разнотравно (*Equisetum arvense*, *Chamaenerion angustifolium*)-моховые сообщества с ивой (*Salix glauca*, *S. phylicifolia*). В напочвенном покрове преобладают мхи (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*). Наиболее повышенные участки заняты мохово-лишайниковыми синузиями. В них отмечены мхи открытых и засушливых местообитаний (*Racomitrium lanuginosum*, *Polytrichum piliferum*, *P. juniperinum*), а также пионерные (*Ceratodon purpureus*, *Bryum* sp.) и кальцефильные (*Distichium capillaceum*) виды. Среди лишайников зафиксирован 31 таксон: *Alecoria nigricans*, *A. ochroleuca*, *Bacidia bagliettoana*, *Baeomyces placophyllus*, *Caloplaca jungermanniae*, *Cetraria islandica* ssp. *crispiformis*, *C. laevigata*, *Cetrariella delisei*, *Cladonia acuminata*, *C. cariosa*, *C. chlorophaea*, *C. cornuta*, *C. ectocyna*, *C. gracilis* ssp. *elongata*, *C. mitis*, *C. pocillum*, *C. rangiferina*, *C. subulata*, *C. uncialis*, *Flavocetraria cucullata*, *F. nivalis*, *Leptogium lichenoides*, *Ochrolechia* sp., *Peltigera canina*, *P. didactyla*, *P. extenuata*, *P. neckeri*, *P. ponojensis*, *Stereocaulon alpinum*, *S. glareosum*. Среди отмеченных видов нет преобладающих.

На песчано-гравийных отложениях карьера «Комсомольский-1» формируются разнотравно (*Chamaenerion angustifolium*, *Equisetum arvense*)-лишайниково-моховые или разнотравно-мохово-лишайниковые сообщества с ивами (*Salix glauca* и *S. phylicifolia*). Среди мхов отмечены пионерные (*Bryum* sp., *Ceratodon purpureus*, *Pohlia* sp.) и луговые (*Brachythecium campetrestre*, *B. salebrosum*) мхи. Значительно число и обилие видов, приуроченных к карбонатным породам: *Bryoerythrophyllum recurvirostre*, *Ditrichum flexicaule*, *D. capillaceum*. Среди выявленных 44 таксонов лишайников нет четко выраженных доминантов. Чуть большим обилием характеризуются *Caloplaca jungermanniae*, *Cladonia cervicornis*, *C. chlorophaea*, *C. symphy-carpa*, *Peltigera rufescens*. В пестром лишайниковом покрове также отмечены *Alecoria nigricans*, *Arctocetraria andrejevii*, *Bacidia bagliettoana*, *Baeomyces placophyllus*, *Bryocaulon divergens*, *Cetraria aculeata*, *C. ericetorum*, *C. islandica*, *C. islandica* ssp. *crispiformis*, *C. laevigata*, *Cetrariella delisei*, *Cladonia acuminata*, *C. borealis*, *C. cariosa*, *C. cornuta*, *C. ectocyna*, *C. fimbriata*, *C. gracilis* ssp. *gracilis*, *C. gracilis* ssp. *turbinata*, *C. macrophyllodes*, *C. mitis*, *C. pocillum*, *C. pyxidata*, *C. ramulosa*, *C. rangiferina*, *C. subulata*, *Flavocetraria cucullata*, *F. nivalis*, *Ochrolechia frigida*, *O. geminipara*, *Peltigera didactyla*, *P. extenuata*, *P. polydactylon*, *P. rufescens*, *Placynthiella uliginosa*, *Rinodina mniaraea*, *Stereocaulon rivulorum*, *S. tomentosum*, *Thamnolia vermicularis*.

На песчаных отложениях складываются наиболее сложные условия для формирования почвенно-растительного покрова. Склоновый характер дна песчаного карьера, усиливающий дренаж поверхности, подверженность субстрата ветровой и водной эрозии, незначительное содержание элементов питания обуславливают формирование разнотравно-лишайниково-

моховых фитоценозов только по периферии карьера. Песчаный субстрат закрепляется мхами, характерными для открытых местообитаний: *Racomitrium lanuginosum*, *Ceratodon purpureus*, *Pogonatum urnigerum*, *Polytrichum juniperinum*, *P. piliferum* и видами родов *Pohlia* и *Bryum*. Из-за неблагоприятных свойств песчаных отложений, а также, по-видимому, короткого периода самовосстановительной сукцессии, отмечено всего 8 видов лишайников: *Cladonia chlorophaea*, *C. fimbriata*, *C. mitis*, *C. ramulosa*, *Peltigera didactyla*, *P. polydactylon*, *Stereocaulon paschale*, *S. rivulorum*.

Таким образом, флора лишайников карьеров отличается по составу и структуре от фоновых сообществ. В фитоценозах карьеров в напочвенном покрове, как правило, отсутствуют доминанты, и сам покров пестрый по видовому составу. Своеобразие лихенофлоры карьеров придают кальцефильные виды (*Bacidia glettoana*, *Caloplaca jungermanniae*, *Mухobilimbia microcarpa*, *Cladonia symphyocarpa*). Видовое богатство в производных сообществах карьеров может превышать фоновые значения, что связано со спецификой субстратных условий (наличие карбонатов), менее плотной упаковкой ниш и отсутствием/низким обилием эдификаторных видов, присутствием видов разных сукцессионных стадий. Своеобразие и разнообразие экотопов на территории карьеров позволяет поселиться значительному количеству видов, в том числе, охраняемым в Республике Коми: *Arctocetraria andrejevii*, *Cetraria laevigata*.

Наибольшее число видов лишайников отмечено на выходах песчано-гравийных отложений. Значительное содержание крупнозернистой фракции песка и наличие гравия и гальки уменьшает подверженность субстрата эрозионным процессам. Низкое содержание питательных веществ ограничивает развитие сосудистых растений. Все отмеченное благоприятствует развитию лишайников. На суглинках лишайники, как правило, подавляются в связи с активным развитием мохового покрова. Поселению лишайников на песчаных карьерах долгое время препятствует высокая подверженность эрозии мелкозернистых песков.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв бореальных и арктических экосистем европейского Северо-Востока в условиях антропогенных воздействий, глобальных и современных региональных климатических трендов», регистрационный номер: 122040600023-8.

ГРУППА «БАЗОВЫХ» ВИДОВ ВО ФЛОРЕ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ ПРЕДБАЙКАЛЯ

А.В. Лиштва

*Иркутский государственный университет, 664011, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
e-mail: Lishtva@rambler.ru*

A GROUP OF «BASIC» SPECIES IN THE FLORA OF EPIPHYTIC LICHENES OF THE PRE-BAIKAL REGION

A.V. Lishtva

*Irkutsk State University, 5 Sukhbaatar St., Irkutsk, 664011 Russia
e-mail: Lishtva@rambler.ru*

При сопоставлении географически близких эпифитных лихенофлор юга азиатской части России с эпифитной лихенофлорой Предбайкалья (Иркутская область), включающей 433 вида, установлено, что наибольшее сходство флора Предбайкалья демонстрирует с широтно-смежными флорами Республики Бурятия, южной части Западной Сибири, Алтая и Еврейской автономной области. Меридианально-смежные лихенофлоры Южной Якутии и Монголии имеют более низкие коэффициенты сходства с эпифитными лишайниками Предбайкалья. Хотя все сравниваемые флоры располагаются в пределах бореальной зоны Голарктики, леса Монголии и Южной Якутии расположены вблизи зональных границ таежного биома. Лесные сообщества Монголии развиты только в северной части республики и граничат на

юге с зоной степей, в то время как леса Южной Якутии расположены севернее южной тайги и примыкают к лесотундрам. Специфичность эпифитной лишенофлоры Предбайкалья довольно низкая и составляет 4.5 % – выявлено всего 19 видов лишайников, не приводившихся в качестве эпифитов для других регионов Сибири.

В результате оценки видового богатства выявлена группа лишайников, встречающихся во всех регионах от Алтая до Приморского края. В составе группы «базовых» лишайников выделяются 16 одновидовых родов, с видами, распространенными повсеместно: *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins et Scheid., *Buellia disciformis* (Fr.) Mudd, *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr., *Dolichousnea longissima* (Ach.) Articus, *Evernia mesomorpha* Nyl., *Imshaugia aleurites* (Ach.) S.F. Meyer и др., они, скорее, подчеркивают степень типичности флоры, чем ее своеобразие. Наиболее показательными в целях оценки флористической автономности и степени изученности флоры являются многовидовые рода. Среди таких для комплекса эпифитных лишайников Предбайкалья характерна активная роль представителей рода *Lecanora* (25 видов), в то время как общими со смежными широтными флорами является только два: *Lecanora pulicaris* (Pers.) Ach. и *Lecanora symmicta* (Ach.) Ach. Заметно участие в сложении флоры лишайников рода *Rinodina* – в Предбайкалье выявлено 20 эпифитных видов, но общими для всех широтных флор являются только три: *Rinodina archaea* (Ach.) Arnold, *Rinodina pyrina* (Ach.) Arnold и *Rinodina septentrionalis* Malme. Существенно выше «базового» комплекса выглядит представленность родов *Calicium*, *Usnea*, *Hypogymnia*, *Bryoria* и *Physcia*. Многовидовыми являются 17 родов, включающих в широтно-смежных флорах 56 видов, а в меридианально-смежных – 32, в Предбайкалье эта группа объединяет 159 видов (таблица). Представляется важным отметить, что выявленные виды рассматриваются как «базовые», но не как «ядро флоры» в понимании Е.Э. Мучник [1] вследствие того, что они обладают широкой экологической амплитудой, часто являются эври- и полисубстратными, а также кроме естественных экотопов, поселяются и в нитрофильных условиях [2]. Экологическая пластичность скорее позволяет считать их эврибионтными или даже убиквистами, что подтверждается участием в составе этой группы факультативно эпифитных представителей родов *Peltigera*, *Cladonia* и *Cetraria*.

Таблица

Родовой спектр «базовых» лишайников, выявленных в качестве эпифитов

| № п/п | Род | Число видов | | | № п/п | Род | Число видов | | |
|-------|--------------------|-------------|----|----|-------|---------------------|-------------|-----------|------------|
| | | ШС | МС | ПБ | | | ШС | МС | ПБ |
| 1 | <i>Bryoria</i> | 4 | 2 | 12 | 10 | <i>Parmelia</i> | 2 | 2 | 6 |
| 2 | <i>Calicium</i> | 2 | 1 | 14 | 11 | <i>Parmeliopsis</i> | 2 | 0 | 2 |
| 3 | <i>Cetraria</i> | 2 | 0 | 4 | 12 | <i>Peltigera</i> | 5 | 3 | 9 |
| 4 | <i>Cladonia</i> | 5 | 3 | 7 | 13 | <i>Physcia</i> | 5 | 3 | 11 |
| 5 | <i>Hypogymnia</i> | 4 | 3 | 11 | 14 | <i>Ramalina</i> | 2 | 1 | 9 |
| 6 | <i>Lecanora</i> | 2 | 2 | 25 | 15 | <i>Rinodina</i> | 3 | 3 | 20 |
| 7 | <i>Leptogium</i> | 3 | 3 | 5 | 16 | <i>Usnea</i> | 4 | 2 | 11 |
| 8 | <i>Melanohalea</i> | 3 | 1 | 5 | 17 | <i>Vulpicida</i> | 3 | 1 | 3 |
| 9 | <i>Nephroma</i> | 4 | 1 | 5 | | Всего: | 56 | 32 | 159 |

Примечание: ШС – широтно-смежные флоры; МС – меридианально-смежные флоры; ПБ – эпифитная лишенофлора Предбайкалья (объяснение в тексте).

Меридианально-смежные флоры Монголии и Южной Якутии при сопоставлении с эпифитной флорой Предбайкалья на уровне видов, более чем в два раза снижают степень сходства, причем это касается не только общего видового богатства, но и «базовой» группы. Общее количество «базовых» родов снижается до 17, а видов до 32. Обращает внимание резкое снижение сходства по родам *Lecanora*, *Rinodina*, *Calicium*, *Bryoria*, *Physcia* и *Hypogymnia* – большинство представителей указанных родов широко распространены в Южной Сибири и всегда входят в состав эпифитных лишенофлор, однако часть из них исчезает во флоре Мон-

голии, а часть – во флоре Якутии. Так, из группы «базовых» лишайников полностью элиминируются представители родов *Parmeliopsis* и *Cetraria*.

Региональные особенности эпифитной лишайнофлоры Предбайкалья прослеживаются в высоком ранговом положении порошкоплодных лишайников и представителей семейств *Physciaceae* и *Lecanoraceae*, большим видовым богатством лишайников из родов *Lecanora*, *Rinodina* и *Phaeophyscia*. Своеобразие лишайнофлоры подчеркивает и ее связь с флорами Дальнего Востока наличие в ее составе субокеанических видов *Dolichous neadiffracta* (Vain.) Articus и *Nephromopsis ornata* (Müll. Arg.) Hue, находящихся в Предбайкалье на западной границе своего ареала [3]. Развитие в регионе горностепных сообществ с участием селягинелл и эфедр в качестве форофитов обособляет специфичную группу лишайников из представителей родов *Punctelia* и *Physconia*, не встречающихся в других сообществах в качестве эпифитов.

Эпифитная лишайнофлора Предбайкалья соответствует зональным особенностям бореальных лесных лишайнофлор и является южнотаежной с низкой степенью специфичности, что подтверждается семейственными и родовыми спектрами эпифитных лишайников. При сопоставлении с лишайнофлорами Южной Сибири на уровне видов установлено, что на современном этапе исследований региональная флора имеет наибольшее сходство с комплексами эпифитных лишайников Саянского горного массива и Республики Бурятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мучник, Е. Э. Некоторые аспекты анализа региональных лишайнофлор / Е. Э. Мучник // Труды Первой Российской лишайнологической школы (Апатиты, 06-12.08.2020). – Петрозаводск, 2001. – С. 106–112.
2. Лиштва, А. В. Эпифитные лишайники городов иркутской агломерации и их биоиндикационная роль / А. В. Лиштва, С. Э. Вершинина // Вестник ИрГСХА. – 2011. – Вып. 44, Ч. 7. – С. 83–88.
3. Lishtva, A. V. *Nephromopsis ornata* (Parmeliaceae, lichenized Ascomycota) – a new species to Siberia / A. V. Lishtva. – *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. – 2023. – Т. 57, № 1. – P. 75–82. – DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2023.57.1.75>

ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЛИХЕНОФЛОРЫ АНТАРКТИДЫ

Р.В. Малышев, И.Г. Захожий, И.В. Далькэ

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: malrus@ib.komisc.ru*

PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION OF SOME ANTARCTIC LICHENS

R.V. Malyshev, I.G. Zakhoshy, I.V. Dalke

*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: malrus@ib.komisc.ru*

Лишайники – классический пример симбиотической ассоциации, состоящий из грибного и фотосинтезирующего компонентов. Это пойкилогидрические экстремофильные фотосинтезирующие организмы, распространенные в природе от Арктики до Антарктиды. Особый интерес к лишайникам как объектам исследования связан с их толерантностью к экстремальным условиям окружающей среды [1]. Полагают, что в основе устойчивости лишайников лежат конститутивные механизмы поддержания структурно-функциональной целостности [2].

Исходя из современных представлений о физиолого-биохимических взаимодействиях, определяющих симбиотическое отношение гриба и водоросли, мы полагаем, что отклонение

свето-температурного режима местообитаний от нормы может повлиять на согласованный энерго-пластический обмен между фото- и микобионтом.

Целью работы было изучить влияние кратковременных изменений светового и температурного режимов на CO_2 -газообмен четырех видов антарктических лишайников.

Объектами исследования служили талломы хлоролишайников *Usnea aurantiaco-atra* (Jacq.) Bory, *Usnea sphacelata* R. Br, *Ramalina terebrata* Hook.f. & Taylor и *Umbilicaria decussata* (Vill.) Zahlbr., отобранных на островах, прилегающих к Антарктическому полуострову, и в континентальной части Антарктиды.

Перед проведением измерений талломы адаптировали в климатической камере в течение 7 суток при температуре 13 °С, относительной влажности воздуха около 60 % и периодическом увлажнении. Освещенность составляла 60-80 мкмоль/м²с, фотопериод (день/ночь) – 10/14 ч.

Функциональное состояние лишайников оценивали по показателям CO_2 -газообмена, измеренным при помощи ИК-газоанализатора «Li-Cor 7000» (США). Для характеристики фотосистемы 2 (ФСII) фотобионтов использовали параметры индуцированной флуоресценции хлорофилла *a*, измеренные флуориметром «РАМ-2100» (Германия).

Результаты анализа свето-температурных зависимостей позволили охарактеризовать фотохимическую активность ФСII фотобионтов лишайников в диапазоне температуры от 0 до 15 °С и плотности потока ФАР в области 20-600 мкмоль квантов/м²с. При 0 °С относительная скорость транспорта электронов в электрон-транспортной цепи ФСII (гЕТР) составляла 15-30 мкмоль/м²с при световом насыщении 400-600 мкмоль квантов/м²с. С повышением температуры до 5 °С максимальные значения показателя гЕТР увеличивались на 50-60 % для *R. terebrata* и *U. decussata*, и практически не изменялись для *U. sphacelata* и *U. aurantiaco-atra*. При 15 °С величины гЕТР при насыщающей освещенности достигали 40-60 мкмоль/м²с.

Анализ световой зависимости CO_2 -газообмена лишайников выявил немонотонный характер изменения скорости нетто-поглощения CO_2 в диапазоне температуры 5-20 °С. При 5 °С талломы характеризовались низкой скоростью (не более 0.1 мг CO_2 /г сырой массы ч) видимого поглощения CO_2 . При этом положительный газообмен регистрировали при освещенности свыше 200 мкмоль квантов/м²с. С увеличением температуры до 10 °С максимальные значения нетто-фотосинтеза значительно возрастали (до 0.1-0.3 мг CO_2 /г сырой массы ч) у талломов всех исследованных видов. Световое насыщение нетто-поглощения CO_2 отмечали при интенсивности ФАР на уровне 500-1000 мкмоль/м²с. Увеличение температуры до 20 °С приводило к снижению скорости видимого поглощения CO_2 в талломах *U. aurantiaco-atra* и *U. decussate* на 30-40 %, тогда как у талломов *U. sphacelata* этот показатель оставался на том же уровне, что и при 10 °С. У *R. terebrata* наблюдали увеличение нетто-поглощения CO_2 с 0.12 до 0.24 мг CO_2 /г сырой массы ч. Изучение дыхательной активности лишайников показало, что увеличение температуры от 5 до 20 °С приводило к повышению скорости выделения CO_2 в 2-3 раза. Наибольшее усиление дыхания обнаружено у талломов *U. aurantiaco-atra* и *U. decussata*, с 0.06 до 0.2 мг CO_2 /г сырой массы ч.

Сопоставление количества ассимилируемого и продуцируемого талломами CO_2 показало, что снижение скорости видимого фотосинтеза *U. decussate* и *U. aurantiaco-atra* с увеличением температуры от 10 до 20 °С было обусловлено существенным повышением дыхания. Скорость видимого поглощения CO_2 у *U. sphacelata* и *R. terebrata* в диапазоне 10-20 °С не изменялась или повышалась, так как рост фотосинтетического поглощения CO_2 на фоне высокой (20 °С) температуры компенсировал выделение CO_2 в процессе дыхания. Скорость потери воды талломами существенно увеличивалась с повышением температуры до 20 °С, достигала у *U. sphacelata* 100 мг H_2O /г сырой массы ч, у остальных видов составляла около 50 мг H_2O /г сырой массы ч. Полученные нами данные согласуются с результатами ранее проведенных исследований фотосинтеза и дыхания лишайников Антарктиды [3].

Таким образом, нами показано, что температура свыше 10 °С может приводить к значительному изменению величины составляющих углеродного баланса антарктических ли-

шайников и, как следствие, повлиять на взаимоотношения между компонентами симбиоза. Несмотря на увеличение фотохимической активности фотобионта и опосредованное этим возрастание гросс-фотосинтеза, температура талломов свыше 10 °С приводит к увеличению затрат ассимилированного углерода на дыхание. Потеря влаги на фоне повышения температуры может привести к снижению ассимиляции CO₂ и переходу талломов в фотосинтетически неактивное состояние.

Исследование выполнено в рамках НИОКТР № 122040600021-4 за счет средств федерального бюджета на выполнение госзадания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kappen, L. Opportunistic growth and desiccation tolerance: The ecological success of poikilohydrous autotrophs / L. Kappen, F. Valladares // Handbook of Functional Plant Ecology / Eds. Pugnaire F., Valladares F. – New York : Marcel Dekker, Inc., 1999. – P. 9.
2. Beckett, R. P. Stress physiology and the symbiosis / R. P. Beckett, I. Kranner, F. V. Minibayeva // Lichen Biology. 2nd ed. Ed. Nash T.H.III. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – P. 134.
3. Lange, O. L. Photosynthesis of lichens from Antarctica / O. L. Lange, L. Kappen // Antarctic terrestrial biology. – 1972. – Vol. 20. – P. 83.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА *PARMELIACEAE* С РАЗНОЙ АНТРОПОТОЛЕРАНТНОСТЬЮ

А.Ф. Мейсурова, А.А. Нотов

*Тверской государственный университет, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33
e-mail: alexandrauraz@mail.ru*

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS IN SOME SPECIES OF *PARMELIACEAE* WITH DIFFERENT ANTHROPOTOLERANCE

A.F. Meysurova, A.A. Notov

*Tver State University, 33 Zhelyabova St., Tver, 170100 Russia
e-mail: alexandrauraz@mail.ru*

В связи с катастрофическими темпами деградации природных экосистем возрастает актуальность разработки комплексных подходов, отражающих специфику лишайников, являющихся индикаторами разных типов антропогенного воздействия. Один тип связан с выбросами предприятий, другой – с трансформацией растительности в ходе быстрого сокращения площади лесных массивов. Для комплексной оценки устойчивости к антропогенным стрессам важен сопряженный анализ функциональных параметров и данных о характере поглощения экотоксикантов [1]. Интересно выявить физиологическую специфику видов с различной антропоотолерантностью, включая индикаторы биологически ценных лесов (БЦЛ) и техногенного загрязнения [1]. Перспективным модельным таксоном может быть семейство *Parmeliaceae* Zenker. Значительное его разнообразие [2, 3] позволяет выяснять зависимость устойчивости к основным типам антропогенного воздействия от функциональных особенностей видов, состава вторичных метаболитов. Несмотря на активные молекулярные исследования, филогенетические позиции ряда клад этого семейства не ясны. Среди них, например, род *Menegazzia* A. Massal. [4, 5]. Изучение физиолого-биохимических особенностей видов с разной степенью родства и антропоотолерантности может дать дополнительную информацию и для понимания филогении. Функциональный анализ видов *Menegazzia*, представителей

пармелиоидной и гипогимниоидной клад с разной устойчивостью к антропогенному стрессу позволит сопоставить физиологические механизмы адаптации в этих таксонах.

В качестве модельных видов нами изучены *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal., *Parmelia sulcata* Taylor, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и *Hypogymnia vittata* (Ach.) Parrique. Из них *P. sulcata* и *H. physodes* широко распространены и устойчивы к умеренному техногенному загрязнению. Два других – редкие и исчезающие индикаторы БЦЛ. Материал собран в 2021 г. в ЦЛГПБЗ (Тверская область) в одном местообитании. Образцы всех видов взяты с одного дерева. С помощью разных физико-химических методов по стандартным методикам [1] выявлены параметры фотосинтетической системы (Хл *a*, Хл *b*), содержание фенольных соединений (ФС), антиоксидантная, антирадикальная активности (АОА, АРА).

Значения физиолого-биохимических характеристик у всех модельных видов, собранных в одном местообитании, соответствуют значениям для фоновых экотопов [1]. Средние величины параметров пигментной (Хл *a*, Хл *b*) и защитной системы (ФС, АОА, АРА) толерантных к антропогенным воздействиям видов (*P. sulcata*, *H. physodes*) выше, чем у редких индикаторных видов БЦЛ (*M. terebrata*, *H. vittata*) (табл.).

Выявлена более высокая целостность системы корреляционных связей между физиолого-биохимическими параметрами у толерантных видов (*P. sulcata*, *H. physodes*) по сравнению с редкими и уязвимыми видами (*M. terebrata*, *H. vittata*) (рис.).

Таблица

Средние значения физиолого-биохимических параметров у модельных видов семейства *Parmeliaceae*

| Вид | Хл <i>a</i> , мг/г | Хл <i>b</i> , мг/г | ФС, мг/г | АОА, мг-экв. кверцетина/г | АРА, мг-экв. аскорб. к-ты/г |
|---------------------|--------------------|--------------------|------------|---------------------------|-----------------------------|
| <i>P. sulcata</i> | 1.15±0.07 | 0.28±0.03 | 7.93±0.10 | 1.04±0.07 | 10.08±0.19 |
| <i>M. terebrata</i> | 0.51±0.05 | 0.28±0.02 | 3.85±0.23 | 0.11±0.01 | 4.86±0.13 |
| <i>H. physodes</i> | 0.54±0.04 | 0.33±0.03 | 21.37±0.93 | 1.66±0.11 | 23.30±0.69 |
| <i>H. vittata</i> | 0.38±0.06 | 0.23±0.03 | 12.94±0.89 | 0.89±0.04 | 14.06±0.95 |

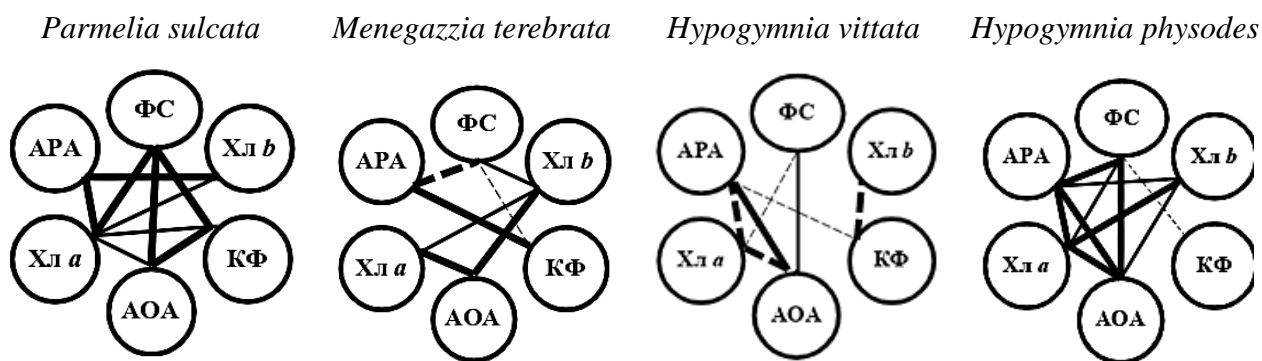


Рис. Корреляционные связи физиолого-биохимических параметров у модельных видов: прямые – сплошная линия (жирная – $r=0.90-1.0$, средняя – $r=0.8-0.89$, тонкая – $r=0.7-0.79$); обратные – пунктир (жирный – $r=-1.0- -0.90$, средний – $r=-0.89- -0.80$, тонкий – $r=-0.79- -0.70$)

У толерантных видов высокий уровень скоординированности корреляционных взаимосвязей определяется большей степенью сопряженности пигментной (Хл *a*, Хл *b*) и защитной систем, что расширяет адаптационные возможности видов, повышает их толерантность в условиях стресса. Уязвимость индикаторных видов БЦЛ соотносится с относительно низкой целостностью системы корреляционных взаимосвязей. У *H. vittata* отсутствуют взаимосвязи между содержанием Хл *b* и параметрами защитной системы (рис.). У *M. terebrata* выявлены единичные связи между параметрами пигментной (Хл *a*, Хл *b*) и защитной систем, что нахо-

дит отражение в высоком уровне чувствительности к изменениям стабильности микроклиматических условий.

На примере рассмотренных модельных видов можно отметить некоторые общие особенности функциональных систем уязвимых индикаторных видов БЦЛ, которые проявляются независимо от степени филогенетического родства и состава вторичных метаболитов [2-5]. В одинаковых условиях в одном местообитании они проявляют более низкий по сравнению с толерантными лишайниками уровень функциональной активности. Индикаторы БЦЛ характеризуются также относительно более низкой целостностью системы корреляционных связей между физиолого-биохимическими параметрами и меньшей скоординированностью систем фотосинтеза и защиты.

Актуально расширение набора модельных представителей семейства *Parmeliaceae* с разной антропоотолерантностью. Оно позволит выяснить, в какой степени отмеченные особенности проявляются у других индикаторов БЦЛ и выяснить возможные взаимосвязи функциональной специфики с составом вторичных метаболитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Использование оптической спектроскопии для анализа физиологических показателей и элементного состава у лишайников рода *Hypogymnia* с разной антропоотолерантностью / А. Ф. Мейсунова, А. А. Нотов, А. В. Пунгин, Л. Н. Скрыпник // Журнал прикладной спектроскопии. – 2024. – Т. 91, № 1. – С. 74–86.
2. Nordic Lichen Flora. Vol. 4: Parmeliaceae / A. Thell, R. Moberg (eds). – Göteborg : Nordic Lichen Society, 2011. – 184 p.
3. Флора лишайников России: Семейство Parmeliaceae II / М. П. Андреев, Т. Ахти, Л. В. Гагарина, Д. Е. Гимельбрант, И. С. Степанчикова (ред.). – М.; СПб. : КМК, 2023. – 136 с.
4. A review of the lichen family *Parmeliaceae* – history, phylogeny and current taxonomy / A. Thell, A. Crespo, P. K. Divakar et al. – Nordic Journal of Botany. – 2012. – Vol. 30, N 6. – P. 641–664.
5. Using target enrichment sequencing to study the higher-level phylogeny of the largest lichen-forming fungi family: *Parmeliaceae* (Ascomycota) / F. Grewe, C. Ametrano, T. J. Widhelm et al. / IMA Fungus. – 2020. – Vol. 11, N 1. – Art. 27.

ПИГМЕНТЫ ЛИШАЙНИКОВ: «ЦВЕТНАЯ» СТРАТЕГИЯ СТРЕССОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Ф.В. Минибаева

*Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН,
420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31
e-mail: minibayeva@kibb.knc.ru*

LICHEN PIGMENTS: «COLOURED» STRATEGY OF STRESS TOLERANCE

F.V. Minibayeva

*Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of the RAS,
2/31 Lobachevsky St., Kazan, 420111 Russia
e-mail: minibayeva@kibb.knc.ru*

Лишайники синтезируют огромное количество вторичных метаболитов, в том числе «лишайниковых веществ». Первые сообщения о лишайниковых веществах появились в XIX веке, с тех пор в лишайниках идентифицировано более 1 050 различных вторичных метаболитов, из них около 700 уникальны для лишайников. Эти соединения широко используются в хемотаксономии и систематике лишайников. Кроме того, благодаря своим физико-химическим характеристикам, вторичные метаболиты обеспечивают фиксацию лишайников на определенных субстратах, в том числе чрезвычайно обедненных органическими веществ-

вами (камни, скалы, лава и т.д.). Наличие лишайниковых веществ позволяет лишайникам произрастать в разнообразных, зачастую стрессовых, экологических нишах. Лишайниковые вещества вовлечены в селективный выбор симбионтов, аллелопатию, они регулируют фотосинтез, дыхание, проявляют защитные свойства, в том числе защиту талломов от световой радиации, патогенных бактерий и грибов, антиоксидантную защиту. Эти соединения важны также для круговорота металлов и защиты таллома лишайников от химического загрязнения. Одним из наименее исследованных аспектов является роль вторичных метаболитов в засухоустойчивости лишайников. Связывание молекул воды и формирование биопленок, в том числе некоторыми гидрофобными соединениями, вносит вклад в поддержание жизнедеятельности лишайников в условиях обезвоживания. Биосинтез разнообразных вторичных метаболитов, таких как производные нафталина, трополоны, антрахиноны и ксантоны, – это компромисс, которым лишайники оплачивают защиту важных метаболических процессов, таких как фотосинтез и дыхание.

Медленный рост лишайников, тесное взаимодействие между симбионтами и химическая сложность вторичных метаболитов затрудняют раскрытие генетических путей, участвующих в биосинтезе этих соединений. Задачи по расшифровке тонких механизмов биосинтеза вовлекают метагеномное секвенирование, культивирование *in vitro* и метаболомный анализ.

Среди вторичных метаболитов лишайников особый интерес вызывают пигменты. Как правило, лишайники устойчивы к световому стрессу, в том числе благодаря наличию фотозащитных вторичных метаболитов. Так, темно-коричневый пигмент меланин играет значительную роль в защите лишайников от УФ-Б стресса, однако ключевые драйверы меланизации остаются неизученными. Меланины – гидрофобные гетерогенные полимеры, образованные последовательными реакциями окисления фенольных/индольных предшественников и последующей полимеризации промежуточных фенолов и хинонов. Транскриптомное профилирование лишайника *Lobaria pulmonaria* продемонстрировало дифференциальную экспрессию генов синтеза нескольких типов меланина и других вторичных метаболитов. Обнаружено, что гены, вовлеченные в биосинтез специфических вторичных метаболитов, организованы в биосинтетические генные кластеры. Для лишайников формирование меланинового слоя на поверхности таллома в ответ на УФ воздействие является одним из ключевых механизмов их высокой устойчивости не только к избыточному освещению, но и обезвоживанию. Нами показано, что связывание молекул воды с гидрофобным меланином зависит от активности специфических функциональных групп в структуре этого полимера, элементного состава, присутствия других хелатированных соединений, например полисахаридов, и ультраструктуры меланиновых частиц.

Антрахинон париедин является доминирующим кортикальным пигментом лишайников *Caloplaca* и *Xanthoria* из семейства *Teloschistaceae*, однако он также синтезируется в органах покрытосеменных растений, например, в корнях *Rumex crispus*. Известно, что париедин из *Xanthoria parietina* обладает антиоксидантными свойствами, однако его основная защитная роль – это защита таллома от высокой фотосинтетически активной радиации и УФ излучения. Существуют также данные о роли париедина в защите *X. parietina* от кадмиевой токсичности благодаря снижению Cd-индуцированного окислительного стресса. Одной из наименее известных особенностей париедина является его вклад в обеспечение защиты лишайников от обезвоживания. Можно полагать, что лишайники, которые приобретают ярко-оранжевую окраску в результате воздействия активной солнечной радиации, нуждаются в дополнительной защите от обезвоживания. Интересно, что удаление париедина щадящим способом не влияет на интенсивность фотосинтеза, однако приводит к снижению стабильности мембран микобинта при обезвоживании, вероятно, вследствие повышения уровня перекисного окисления липидов. Биоинформатический анализ показал, что гены, вовлеченные в биосинтез париедина, организованы в биосинтетические генные кластеры. Обезвоживание приводит к повышению уровня экспрессии генов биосинтеза париедина, а также генов, кодирующих осмосенсорные, осмопротекторные и антиоксидантные белки. Анализ талломов *X. parietina* методами

биохимии, биофизики и микроскопии свидетельствует о том, наличие паретина вносит вклад в защиту талломов лишайника от абиотических стрессов благодаря поддержанию стабильности мембран, обеспечению антиоксидантной защиты, формированию структурного барьера и сохранению молекул воды в кортексе талломов лишайника.

Уникальные свойства пигментов лишайников делают эти естественные полимеры перспективными объектами для фундаментальных и прикладных исследований, в частности, для развития так называемой «зеленой электроники», применения в медицине, биотехнологии и ремедиации.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и поддержана грантом РФФИ № 23-14-00327.

КОМПЛЕКСНЫЙ СОЗОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ВЕДЕНИЯ ЛИХЕНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗДЕЛОВ КРАСНЫХ КНИГ

Е.Э. Мучник

*Институт лесоведения Российской академии наук
143030, Московская обл., г. Одинцово, с. Успенское, ул. Советская, 21
e-mail: emuchnik@outlook.com*

INTEGRATED SOZOLOGICAL ANALYSIS AS A POSSIBLE TOOL FOR MAINTAINING LICHENOLOGICAL SECTIONS OF RED DATA BOOKS

E.E. Muchnik

*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences
21 Sovetskaya St., v. Uspenskoe, Odyntsovo, Moscow Region, 143030 Russia
e-mail: emuchnik@outlook.com*

В 1964 г. Международным союзом охраны природы (МСОП, IUCN) учреждена первая Красная книга, что в дальнейшем инициировало процесс создания Красных книг от международных до региональных и даже муниципальных. На сегодняшний день IUCN Red List [1] включает 84 вида лишайников, отнесенных к категориям «угрожаемых» (CR, EN и VU). В СССР первое издание Красной книги вышло в 1978 г., но лишайники не были в нем представлены. В количестве 29 видов они появляются во втором издании 1984 г., и те же виды включены в Красную книгу РСФСР 1988 г. В Красную книгу Российской Федерации 2008 г. занесены 42 вида лишайников, а в планируемом новом издании [2] их число возросло до 75. Во всех 89 субъектах РФ на сегодня разработаны и действуют региональные Красные книги, лихенологический раздел отсутствует только в 9 из них, еще в нескольких регионах списки охраняемых лишайников включают не более 5 видов. Отметим, что большинство имеющихся региональных списков охраняемых видов лишайников базируются на очень разных критериях и принципах, от собственных разработок до критериев МСОП, применение которых на региональном уровне вполне возможно и целесообразно, в том числе, для криптогамных организмов [3], а согласно новому положению о Красной книге Российской Федерации [2] является обязательным.

Тем не менее, существует ряд причин, по которым в России применение критериев МСОП для лишайников на региональном уровне затруднительно. К объективным причинам в настоящее время относятся крайне неравномерная изученность в лихенологическом отношении российских регионов и острый недостаток специалистов. К субъективным – отсутствие (а зачастую и невозможность) единого «общепринятого» мнения лихенологов по определению понятий «индивидуум» или «особь», «половозрелая особь», «популяция», «фрагментация ареала» и некоторые другие. В таких условиях оптимальным решением будет использование комплексного созологического анализа [4], успешно апробированного в нескольких регионах для оценки подлежащих охране видов [4, 5 и др.].

Адаптированная нами для лишайников «матрица Саксонова-Розенберга» (табл.) включает биологические, экологические, биогеографические, созологические и экономические (хозяйственные) признаки.

Таблица

Шкала созологической оценки видов (по [4], с изменениями)

| Созологический признак | Вес признака | Созологическая оценка признака, баллы | | | |
|---|--------------|--|---|----------------------------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Количество местонахождений в регионе | 5 | более 25 | 11-25 | 4-10 | 1-3 |
| Встречаемость / Обилие вида в типичных местообитаниях | 5 | доминирует | обычен | редок | очень редок |
| Антропотолерантность | 4 | очень высокая | высокая | средняя | низкая |
| Эколого-ценотическая амплитуда | 4 | эвритон | гемиэвритон | Гемистенотон | стенотон |
| Биогеографическая значимость | 3 | вид в пределах сплошного ареала | вид в пределах прерывистого ареала | вид на границе ареала | вид за пределами ареала (анклав, рефугиум) |
| Топография ареала | 3 | межконтинентальный вид | континентальный вид | эндемик | узколокальный эндемик |
| Официальный природоохранный статус | 2 | отсутствует | включен в Красные книги сопредельных регионов | включен в Красную книгу РФ | включен в Red List IUCN/ The Global Fungal Red List |
| Территориальная защищенность (наличие на ООПТ) | 2 | на ООПТ федерального уровня с комплексным режимом охраны | на ООПТ регионального уровня с комплексным режимом охраны | на непрофильных ООПТ | отсутствует на ООПТ |
| Возможность трансплатации / культивирования | 1 | высокая, апробирована | средняя, не апробирована | низкая | отсутствует |
| Хозяйственное / практическое значение | 1 | отсутствует | низкое | среднее | высокое |

Для расчета созологического индекса (S_i) вида «вес» каждого признака нужно умножить на его балльную оценку и сложить все полученные значения. В зависимости от уровня изученности лишайнобиоты региона в шкалу можно вводить и другие признаки, например данные о динамике численности.

В качестве апробации метода нами произведен расчет S_i для четырех аридных видов лишайников, включенных в новый список охраняемых видов России [2]. В результате наибольшим значением $S_i=104$ характеризуется *Circinaria tominii* (Oxner) Sohrabi, в списке имеющий категорию 1 КР и соответствующий по шкале IUCN [1] категории CR. Для остальных трех видов значения S_i распределились следующим образом: *C. esculenta* (Pall.) Sohrabi – 87; *C. affinis* (Eversm.) Sohrabi – 84; *Seirophora lacunosa* (Rupr.) Fröden – 76. Заметим, что все перечисленные виды согласно критериям IUCN относятся к категории VU, но *C. esculenta* и *S. lacunosa* в списке [2] имеют категорию 2 У, а *C. affinis* – 3 У, что может быть вызвано как некоторым недостатком данных на этапе подготовки списков, так и субъективностью оценки.

Для сравнения, S_i одного из самых обычных и наиболее распространенных на территории России лишайников – *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. – равен 45, что составляет значи-

тельный «отрыв» в баллах от оцененных выше охраняемых видов. Этот факт косвенно подтверждает объективность предложенной методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. IUCN 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1. – URL: <https://www.iucnredlist.org> (date of access: 27.04.2024)
2. Об утверждении перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23 мая 2023 г. № 320 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 21 июля 2023 г.).
3. Заварзин, А. А. Возможности применения глобальных категорий и критериев Красного списка Всемирного Союза Охраны Природы на региональном уровне / А. А. Заварзин, Е. Э. Мучник // Ботанический журнал. – 2005. – Т. 90, № 1. – С. 105–118.
4. Саксонов, С. В. Организационные и методические аспекты ведения региональных Красных книг / С. В. Саксонов, Г. С. Розенберг. – Тольятти : Ин-т экологии Волжского бассейна, 2000. – 164 с.
5. Лагунов, А. В. Редкие чешуекрылые Ильменского заповедника: созологический анализ / А. В. Лагунов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 10. Спецвыпуск. Ч. 1. – С. 98–100.

НОВЫЙ ВИД ДЛЯ ЛИХЕНОБИОТЫ КАЗАХСТАНА *ACAROSPORA WAHLENBERGII* H. MAGN.

А.Д. Мырзахан, Е.В. Рахимова

*Институт ботаники и фитоинтродукции, 050040, Казахстан, г. Алматы, ул. Тимирязева, 36 Д
e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru*

NEW SPECIES FOR THE LICHEN BIOTA OF KAZAKHSTAN *ACAROSPORA WAHLENBERGII* H. MAGN.

A.D. Myrzakhan, E.V. Rakhimova

*Institute of Botany and Phytointroduction, 36 D Timiryazev St., Almaty, 050040 Kazakhstan
e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru*

Acarospora A. Massal. (*Acarosporaceae* Zahlbr., *Acarosporales* Reeb, Lutzoni & Cl. Roux, *Lecanogomycetes* O.E. Erikss. & Winka) – космополитный род, включающий 200 видов по всему миру, отличительными признаками которых являются аспилиоидные или псевдолеканоровые апотеции с полиспоровыми сумками и простыми гиалиновыми аскоспорами [1, 2]. Представители рода обитают преимущественно на камнях, скалах и почве, случайно – на древесине и антропогенных субстратах [2]. Многие виды *Acarospora* характеризуются высокой морфологической изменчивостью [3].

Основой для статьи послужили 8 образцов, собранных на территории пустынных низкогорий юго-востока Казахстана в 2023-2024 гг. и изученных с помощью светового микроскопа Levenhuk MED D45T LSD. При исследовании морфологических и анатомических признаков и проведении химических реакций, специфических для лишайников [4], установлена принадлежность образцов к виду *Acarospora wahlenbergii* H. Magn., являющимся новым для территории Казахстана.

Изученные образцы. «Казахстан, Алматинская обл., Енбекшиказахский р-н, горы Сюгаты, боковое ответвление ущ. Кокпек, выходы горных пород, 1012 м над ур. м., N43°29'54.7", E078°37'41.9", 18.08.2023; там же, ущелье юго-восточнее с. Нура, выходы горных пород, т. 71, 917 м над ур. м., N43°31'46.4", E078°32'35.1", 5.04.2024». Собр. Е.В. Рахимова, опр. Е.В. Рахимова. Там же, «Жамбылский р-н, в 15 км северо-западнее ст. Копа, в 1, 2 км от поворота на с. Эспе, скалы на берегу реки, т. 11, 762 м н. у. м.,

N43°38'45.4", E075°45'10.7", 22.03.2023; там же, Чу-Илийские горы, приток р. Копа, скалы у правого берега, т. 16, 761 м над ур. м., N43°35'21.5", E075°24'10.5", 28.04.2023». Собр. Е.В. Рахимова, опр. И. Евдокимов. Там же, «хр. Жетыжол, предгорья, дорога от пос. Дегерес к трассе Алматы – Бишкек, западный склон, на скалах, 947 м над ур. м., N43°16'49.3", E075°47'17.8", 6.12.2023; там же, северо-западный склон, на скалах, 983 м над ур. м., N43°16'43.3", E075°47'32.8", 6.12.2023». Собр. Е.В. Рахимова, опр. А.Д. Мырзахан. Там же, «Кегенский р-н, хр. Турайгыр, южный склон, т. 69, 1452 м над ур. м., N43°19'21.3", E078°55'04.4", 24.03.2024; там же, северный склон, т. 70, 1451 м над ур. м., N43°19'16.7", E078°55'00.6", 24.03.2024». Собр. Е.В. Рахимова, опр. Е.В. Рахимова.

Описание. Таллом розеточный, может достигать несколько сантиметров в диаметре, темно-коричневый или буроватый (рис. 1), с темной нижней поверхностью. Лопастей по краю таллома до 0.5 мм шириной, на концах простые или вильчатые, выпуклые. Верхний коровой слой 20-30 мкм, снаружи красновато-коричневый, с округлыми коровыми клетками. Нижний коровой слой до 20 мкм толщиной, темно-коричневый. Слой водорослей 150-200 мкм, негустой, прерывается тяжами гиф. Сердцевина заполнена густо переплетенными, продольно расположенными гифами. Апотеции 0.5 мм диаметром, расположены в центре таллома, по 2-6 на каждой бородавочке (рис. 2). Диск углубленный, красновато-коричневый. Гимениальный слой составляет 125-155 мкм. Парафизы толщиной 1.5 мкм, на вершине темно-коричневые, не утолщенные. Сумки длиной до 100 мкм и шириной до 22 мкм, полиспоровые. Споры (3.5-5×1.5-1.7 мкм) эллипсоидные, бесцветные.



Рис. 1. Таллом *Acarospora wahlenbergii* на камнях

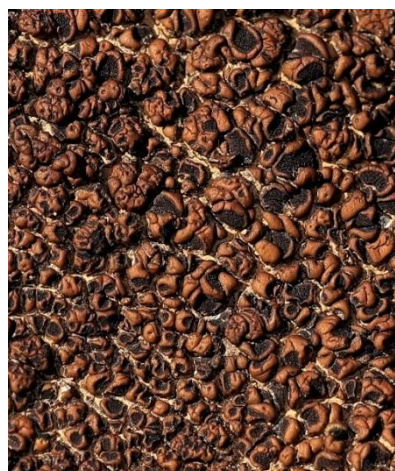


Рис. 2. Фрагмент таллома *A. wahlenbergii* апотециями

Слоевище при действии гипохлорида натрия краснеет, от гидроксида калия и реактива Штейнера не изменяется в окраске; гимениальный слой от иода синее, при этом сумки окрашиваются в винно-красный цвет.

Экология и распространение. На вертикальных, нависающих поверхностях силикатных скал. Европа (Скандинавия) [4]. На территории юго-востока Казахстана *Acarospora wahlenbergii* встречается как на вертикальных поверхностях скал, так и на отдельных камнях, расположенных в конусах выносов временных водотоков. В целом, представители рода *Acarospora* обитают в различных климатических зонах, предпочитая, однако, аридные и горные районы.

В таксономическом справочнике GBIF Backbone [5] для вида *A. wahlenbergii* приводится 115 наблюдений. Из них – четыре наблюдения приходятся на Казахстан и представляют собой наши данные с фотографиями, загруженными на сайт iNaturalist. Максимальное количество наблюдений (60) отмечено в Норвегии, почти в половину меньше (28) – в Швеции. В Антарктике сделано 16 наблюдений, в Австрии – четыре и в России – одно наблюдение.

Для двух местообитаний страна не указана. Таким образом, в настоящее время вид *A. wahlenbergii* известен из немногих местообитаний преимущественно в Европе, но не исключено, что он обитает и в других регионах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Acarosporales: Acarosporaceae, including the genera *Acarospora*, *Caeruleum*, *Myriospora*, *Pleopsidium*, *Sarcogyne* and *Trimmatothelopsis* / K. Knudsen, J. Kocourková, P. Cannon, B. Coppins, A. Fletcher, J. Simkin // *Revisions of British and Irish Lichens*. – 2021. – Vol. 12. – P. 1–25.
2. *Acarospora fuscata* and *A. umbilicata* (Acarosporaceae, Ascomycota) in Belarus / K. Knudsen, A. Tsurukau, E. Hodková, V. Golubkov, P. Bely, and J. Kocourková // *Ботанический журнал* – 2022. – Т. 107, № 1. – С. 38–46
3. Species delimitation and evolution of metal bioaccumulation in the lichenized *Acarospora smaragdula* (Ascomycota, Fungi) complex / M. Wedin, M. Westberg, A. T. Crewe, A. Tehler & O. W. Purvis. – *Cladistics*. – 2009. – Vol. 25, N 2. – P. 161–172.
4. Определитель лишайников СССР. Вып. 5. Кладониевые – Акароспоровые. – Л., Наука, 1978. – 305 с.
5. *Acarospora wahlenbergii* H. Magn., 1929 in GBIF Secretariat. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. – 2023. – <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-03-26.

МОНИТОРИНГ ЛИШАЙНИКОВ КРАСНОЙ КНИГИ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. Новоселова¹, Т.Ю. Светашева¹, Е.Э. Мучник²

¹*Тульский государственный педагогический университет имени Л.Н. Толстого, 300026, г. Тула, пр. Ленина, 125*

²*Институт лесоведения Российской академии наук, 143030, Московская обл., г. Одинцово, с. Успенское, ул. Советская, 21
e-mail: lenok.novosylova02@gmail.com*

THE MONITORING OF LICHENS INCLUDED IN THE RED DATA BOOK OF THE TULA OBLAST

E.A. Novoselova¹, T.Yu. Svetasheva¹, E.E. Muchnik²

¹*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, 125 Lenin Ave., Tula, 300026 Russia*

²*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, v. Uspenskoe, Odyntsovo, 21 Sovetskaya St., Moscow Region, 143030 Russia
e-mail: lenok.novosylova02@gmail.com*

Актуальное издание Красной книги Тульской области (КК ТО), включающее раздел лишайники, было опубликовано в 2021 г. [1]. Раздел содержит 40 видов лишайников, еще 22 вида внесены в Приложение 1 (виды, популяции которых в Тульской области нуждаются в постоянном наблюдении и контроле) [1].

Объекты настоящего исследования – лишайники, внесенные в КК ТО 2021 г. [1]. Цель исследования – мониторинг охраняемых в регионе видов лишайников. Исследования проводились в период 2023-2024 гг. маршрутным методом с определением геолокации при помощи смартфона с GPS-навигацией, частичной гербаризацией и фотофиксацией объектов с последующей выгрузкой на платформу iNaturalist [2]. Маршрутами охвачены Суворовский, Белевский и Заокский районы области. Камеральная обработка осуществлялась стандартными лихенологическими методами на базе ТГПУ им. Толстого и Института лесоведения РАН. В ходе мониторинга были выявлены новые точки находок и/или подтверждены местонахождения следующих видов (табл.).

Местонахождения охраняемых видов лишайников Тульской области и их характеристика

| Вид лишайника, категория охраны | Субстраты | Биотопы | Местонахождения*, (число находок)** |
|--|---|--|-------------------------------------|
| Найденные виды лишайников основного списка КК ТО | | | |
| <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. 2 | Песчаная почва | Сосновый лес, опушка широколиственного леса | T1(1;1), T3(2) |
| <i>Nephromopsis chlorophylla</i> (Willd.) Divakar A. Crespo & Lumbsch, 2 | На ветках и стволе березы, часто на сухих | Посадки хвойных и лиственных деревьев, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T1(1), T2(1), T5(1) |
| <i>Cladonia turgida</i> Ehrh. ex Hoffm. 1 | Песчаная почва | Сосновый лес, опушка посадок сосняка | T1(1;1) |
| <i>Platismatia glauca</i> (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb. 2 | На стволе березы – часто, лиственницы | Смешанный лес, посадки лиственницы, широколиственный лес, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T1(1), T2(2), T3(1), T5(1) |
| <i>Usnea hirta</i> (L.) F.H. Wigg. 2 | На ветках березы, сосны, ели | Посадки хвойных и лиственных деревьев, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T1(1), T2(6), T3(p), T5(1) |
| <i>Peltigera malacea</i> (Ach.) Funck. 2 | На песчаной почве | Сосновый лес, опушка посадок сосняка [3] | T1(2;3) |
| <i>Evernia mesomorpha</i> Nyl. 3 | На ветках и стволе березы, на ветках сосны, ели | Сосновый лес, посадки хвойных и лиственных деревьев, широколиственный лес, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T1(3), T2(p), T3(p), T4(2), T5(2) |
| <i>Cladonia carneola</i> (Fr.) Fr. 1 | На песчаной почве | Опушка посадок сосняка | T1(1) |
| <i>Cladonia cariosa</i> (Ach.) Spreng. 2 | На песчаной почве | Опушка посадок сосняка | T1(1) |
| <i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach. 4 | На стволе березы, дуба | Смешанный лес, посадки хвойных и лиственных деревьев, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T2(1), T4(1), T5(1) |
| <i>Cladonia verticillata</i> (Hoffm.) Schaer. 2 | На супесчаной почве | Опушка посадок хвойных и лиственных деревьев | T2(1) |
| <i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach. 2 | На стволе дуба, березы | Широколиственный лес, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T3(2), T5(1) |
| <i>Bryoria fuscescens</i> (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw. 1 | На стволе березы | Широколиственный лес | T3(3) |
| <i>Parmelina tiliacea</i> (Hoffm.) Hale. 2 | На стволе дуба | Широколиственный лес | T3(1) |
| <i>Peltigera polydactylon</i> (Neck.) Hofm. 3 | На замшелом валеже, на почве | Смешанный лес, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T4(1), T5(3) |
| Найденные виды лишайников Приложения 1 КК ТО | | | |
| <i>Peltigera canina</i> (L.) Willd. | В основании ствола осины, на разных типах почв | Посадки хвойных и лиственных деревьев, широколиственный лес | T1(2), T2(1), T3(1), T4(1) |
| <i>Peltigera extenuata</i> (Nyl. ex Vain) Lojka. | На песчаной и супесчаной почве | Посадки хвойных и лиственных деревьев | T1(1;1), T2(1) |
| <i>Cladonia pleurota</i> (Flörke) Schaer. | На супесчаной почве | Посадки хвойных и лиственных деревьев | T2(1) |
| <i>Melanohalea septentrionalis</i> (Lynge) O. Blanco et al. | На ветках березы | Посадки хвойных и лиственных деревьев | T2(1) |
| <i>Anaphycia ciliaris</i> (L.) Körb. | На стволе осины | Широколиственный лес | T3(1) |
| <i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Nav. | На стволах березы | Посадки хвойных и лиственных деревьев, старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T2(1), T5(1) |
| <i>Ramalina pollinaria</i> (Westr.) Ach. | На стволе березы | Старовозрастные березы на окраине смешанного леса | T5(1) |

Примечание:

* – Места и даты исследования. В Суворовском районе: (T1) 14.09.2023 г. Варушицкий сосновый бор; (T2) 22.09.2023 г. посадки хвойных и лиственных деревьев на месте выработанных карьеров в окр. д. Платово; в Белевском районе: (T3) 02.10.2023 г. остепненный широколиственный лес «Федяшевская излучина»; (T4) 13.04.2024 г. смешанный лес у болота «Клюква»; в Заокском районе (T5) 29.04.2024 г. смешанный лес между д. Антоновка и с. Велегож. Местонахождения (T2) и (T5) ранее не обследовались в лихенологическом отношении.

** – Полу жирным шрифтом обозначены новые местонахождения видов; p – регулярно встречающийся вид на территории указанного лесного массива.

Таким образом, для 15 видов основного списка КК ТО [1] было выявлено 43 новых местонахождений (без учета количества точек находок видов, встречающихся регулярно в лесном массиве, которые в данном случае приняты за одно местонахождение). Для 7 видов Приложения 1 обнаружено 11 новых местонахождений. Все исследованные лесные массивы в настоящее время не являются утвержденными ООПТ, однако три из них входят в перечень перспективных. Рекомендовано сохранять установленные категории редкости видов ввиду возникновения возможных резких антропогенных вмешательств и других агрессивных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Тульской области: лишайники и грибы. Официальное издание / под ред. Е. Э. Мучник и Т. Ю. Светашевой. – Тула : Аквариус, 2021. – 152 с.
2. iNaturalist [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.inaturalist.org>, свободный (дата обращения 13.05.2024).
3. Новоселова, Е. А. Мониторинг редкого вида лишайника *Peltigera malacea* (Ach.) Funck / Е.А. Новоселова, Т. Ю. Светашева // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2023. – № 4. – С. 130–138.

TEMPERATURE-INDUCED EXPRESSION OF SQUALENE EPOXIDASE (SQE1) GENE IN THE LICHEN *LOBARIA PULMONARIA*

A.O. Onele¹, M.A. Swid^{1,2}, I.Y. Laksin¹, J.N. Valitova¹, V.R. Khabibrakhmanova¹, A.F. Khajrullina¹, D.F. Rakhmatullina¹, E.I. Galeeva¹, R.P. Beckett³ and F.V. Minibayeva^{1,2}

¹Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center,
P.O. Box 261, Kazan, 420111 Russia

²Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya St., Kazan, 420008 Russia

³School of Life Sciences, University of KwaZulu-Natal, Private Bag X01, Pietermaritzburg,
Scottsville 3209, South Africa
e-mail: dktarget188@mail.ru

Currently, due to the increasing impact of anthropogenic factors and changes in solar activity, there is a constant increase in temperature on Earth, which poses a threat to biodiversity [1]. Lichens are among the most sensitive organisms to climate change. Elevated ambient temperatures can have a significant impact on the response of lichens, leading to increased loss of respiratory carbon. A high temperature can affect the rehydration and moisture levels of the thallus, resulting in more frequent and intense drying events that can impede photosynthetic activity. Subsequently, changes in climatic conditions are expected to impact lichen communities, resulting in shifts in species composition driven by their ability to tolerate increasing drought conditions. The effects of climate change may accelerate the decline of *Lobaria pulmonaria* in the near future, possibly exceeding the species' ability to adapt ecologically. Understanding the geographic patterns in lichen ecology is essential for applied ecological research, especially regarding bioindicators, habitat conservation, and predicting future assemblages. The symbiotic partnerships in lichens are characterized by a diverse sterol makeup that enhances their tolerance to different stresses, particularly extreme temperatures. The mycobiont *L. pulmonaria* forms a complex symbiotic relationship with a green-algal primary photobiont, *Symbiochloris reticulata* [2], along with a minor cyanobacterial partner, *Nostoc* sp. (Nostocales) [3]. Additionally, *L. pulmonaria* appears to have developed robust molecular pathways to adapt to environmental fluctuations and stress. This adaptation involves transcriptomic convergence, where it adjusts its gene expression patterns in response to changing environmental conditions. Sterols are important components of the cell membrane and lipid rafts that play a critical role in various physiological and biochemical processes during development and stress tolerance in living organisms [4]. Sterols can be categorized into animal, plant, and fungal sterols based on their sources, although lichens have a unique and diverse sterol composition that differs from that of fungi and algae, and may also determine high stress tolerance of these symbiotic organisms [5]. The

major sterol present in lichens is ergosterol (ERG). However, the role of the ERG biosynthetic pathway, particularly the epoxidation of squalene to 2,3-oxidosqualene catalyzed by squalene epoxidase, in stress tolerance mechanisms in lichens has not been thoroughly investigated.

In this study, we used lichen *L. pulmonaria* as a model species that is well known to be sensitive to air pollution and habitat loss. Using *in silico* analysis we identified cDNAs responsible for encoding squalene epoxidase from *L. pulmonaria*, designating them as *LpSQE1* for the mycobiont and *SrSQE1* for the photobiont *S. reticulata*. Moreover, genes encoding the Heat shock proteins (*Hsps*) were also identified. Additionally, the physicochemical properties and subcellular localization of *LpSQE1* and *SrSQE1* proteins were examined. Subsequently, the respiration rate, membrane stability index (MSI), chlorophyll fluorescence, and gene expression profiles of the lichen were assessed following exposure to both low and high temperature stress conditions to evaluate its physiological state.

In our results, physico-chemical analysis of the proteins showed that *LpSQE1* and *SrSQE1* are both alkaline proteins with a relatively high percentage of similarity. Structural analysis revealed that these proteins share similar tertiary structures with conserved domains, suggesting functional and structural similarities. The phylogenetic analysis showed genetic diversification within each group, suggesting common ancestry and evolutionary relationships with other *SQE1* proteins from related species. Additionally, physiological analysis of stress-induced changes in respiratory activity, chlorophyll fluorescence and MSI of *L. pulmonaria* under freezing, cold and elevated temperatures showed that exposure to temperatures of +4 °C and +30 °C did not result in noticeable changes in the respiratory rate, MSI, chlorophyll fluorescence parameters *Fv/Fm* and electron transport rate (ETR), suggesting that these temperatures are not stressful for *L. pulmonaria* and fall within the range of seasonal temperature fluctuations to which the lichen is well adapted. Changes in the levels of lipophilic membrane components such as triterpenes and tocopherols may contribute to maintaining the metabolically active state of plasma membranes, mitochondria, and chloroplasts. Furthermore, the RT-qPCR analysis showed the differential response of *L. pulmonaria* and its green algal photobiont, *S. reticulata*, to varying temperature stress conditions. Temperatures of +4 °C and +30 °C had no serious effects on *LpSQE1* and *SrSQE1*, however, extreme temperatures induced the expression of these genes. Additionally, +4 °C had minimal effects on the expression of *Hsp* genes, while exposure to higher temperatures, particularly +30 °C and +40 °C, induced a stress response in the lichen. The upregulation of *LpSQE1*, *SrSQE1*, and various *Hsps* in response to extreme temperatures suggests their crucial role in protecting the lichen cells from temperature-induced damage. These findings provide insights into the molecular mechanisms underlying temperature stress responses in lichens and emphasize the importance of these protective genes in maintaining cellular integrity and survival under challenging environmental conditions. This research provides valuable insights into the role of *SQE1* and various *Hsps* in the response of *L. pulmonaria* and *S. reticulata* to diverse temperature conditions.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the FRC Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and with the financial support of the Russian Science Foundation grant № 22-14-00362.

REFERENCES

1. Bellard, C. Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. / C. Bellard, C. Leclerc, F. Courchamp // *Global Ecology and Biogeography*. – 2014. – Vol. 23, N 2. – P. 203–212.
2. Taxonomic revision and species delimitation of coccoid green algae currently assigned to the genus *Dictyochloropsis* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) / P. Skaloud, T. Friedl, C. Hallmann, A. Beck, F. Dal Grande // *Journal of Phycology*. – 2016. – Vol. 52, N 4. – P. 599–617.
3. Cornejo, C. New morphological aspects of cephalodium formation in the lichen *Lobaria pulmonaria* (Lecanorales, Ascomycota) / C. Cornejo, C. Scheidegger // *The Lichenologist*. – 2013. – Vol. 45, N 1. – P. 77–87

4. Biosynthesis and the Roles of Plant Sterols in Development and Stress Responses. / Y. Du, X. Fu, Y. Chu, P. Wu, Y. Liu, L. Ma, H. Tian, B. Zhu // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23, N 4. – P. 2332.

5. Recent advances in ergosterol biosynthesis and regulation mechanisms in *Saccharomyces cerevisiae* / Z. Hu, B. He, L. Ma, Y. Sun, Y. Niu, B. Zeng // Indian Journal of Microbiology. – 2017. – Vol. 57, N 3. – P. 270–277.

О ЛИШАЙНИКЕ *ACAROSPORA SCHLEICHERI* (ACH.) MASSAL. В РОССИИ

В.В. Панькова

Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН,
197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2
e-mail: VPankova@binran.ru

ABOUT THE LICHEN *ACAROSPORA SCHLEICHERI* (ACH.) MASSAL. IN RUSSIA

V.V. Pankova

Komarov Botanical Institute RAS, 2 Prof. Popova St., St. Petersburg, 197022 Russia
e-mail: VPankova@binran.ru

Acarospora schleicheri впервые была описана Erik Acharius в его труде «Lichenographia universalis», как *Urceolaria schleicheri* – желтый лишайник с черными апотециями, произрастающий на почве [1]. В 1852 году Abramo Massalongo перемещает *U. schleicheri* в род *Acarospora* [2].

A. schleicheri характеризуется чешуйчатый, светло или грязно желто-зеленоватым, неопределенным талломом. Чешуйки 0.5-3.0 мм в диаметре, примерно 0.4 мм толщиной, округлые или неправильной формы, плотно прикрепленные или лопастные, матовые, шероховатые, нижняя поверхность красновато-коричневая. Верхний коровый слой 20-30 мкм толщ., в верхней части грязно-желтый, в нижней прозрачный. Эпинецральный слой неравномерный, до 10 мкм толщ. Альгальный слой 60-150 мкм толщ., непрерывный, внешний слой неровный. Апотеции расположены преимущественно по одной на чешуйке (реже по 2-5). Диск вначале точковидный, затем расширенный до 0.5-1.3 мм в диаметре, плоский или выпуклый, от красно-коричневого до черноватого, окружен желтоватым слоевищным краем. Эксципул 20-45 мкм толщиной, отчетливый или плохо различимый. Гипотечий около 10 мкм толщиной, плохо различимый. Субгимений 20-50 мкм, зернистый, желтовато- или оранжево-сероватый. Гимений 75-95 мкм выс., эпитеций 10-15 мкм высотой красновато-коричневый или желто-коричневый. Парафизы 1.8-2 (2.5) мкм толщиной, склеенные, плохо различимые в воде, некоторые слабо ветвятся или анастомозируют, вершины у некоторых расширены до 3-4 мкм и окрашены в коричневый цвет. Сумки (55-75 x 13-17) мкм, булавовидные. Споры (3.5-5.5 x 2-3) мкм широко эллипсоидные, эллипсоидные, 3.5-4 мкм шаровидные. От К и С окраска таллома не изменяется, гимений при реакции с йодом становится темно-синим. Обитает на почве и растительных остатках.

A. schleicheri является широко распространенным видом. Известен из Северной и Южной Америки, Гренландии, Африки, Австралии, Европы, Азии. В России вид *A. schleicheri* отмечен повсеместно на юге Европейской России, Южном Урале, Кавказе, в Восточной и Южной Сибири и на Севере Дальнего Востока [3].

A. schleicheri относится к группе желтых видов *Acarospora*. Одним из главных отличительных признаков данного вида является его субстратная приуроченность. Помимо *A. schleicheri* существует только один желтоокрашенный вид данного рода – *Acarospora chilensis* Н. Magn., который произрастает на почве [4]. Однако он отличается более мелкими размерами чешуек и апотециев (0.5-1.0 мм диам. и 0.2-0.3 мм диам. соответственно), узкими спорами (2-5 x 1.7 мкм), а также распространением, ограничивающимся территорией южной Америки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Acharius, E. Lichenographia universalis in qua lichens omnes detectos / E. Acharius. – Göttingen, 1810. – 696 p.
2. Massalongo, A. B. Ricerche sull'autonomia dei licheni crostosi e materiali pella loro natural ordinazione / A. B. Massalongo // Dalla tipografia di A. Frizierio, 1852. – 375 p.
3. Урбанавичюс, Г. П. Список лишенофлоры России / Г. П. Урбанавичюс. – СПб. : Наука, 2010. – 194 с.
4. Magnusson, A. H. A monograph of the genus Acarospora / A. H. Magnusson // Kungl. Svenska vetenskapsakademiens handlingar, 1929. – 7. – 400 p.

ФОТОБИОНТ – *STIGONEMA LICHENOIDES* SP. NOV. (NOSTOCALES, CYANOBACTERIA) НОВЫЙ ВИД, ВЫДЕЛЕННЫЙ ИЗ ЛИШАЙНИКА *EPHEBE LANATA*

Е.Н. Патова, Д.М. Шадрин, И.В. Новаковская

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: patova@ib.komisc.ru*

PHOTOBIONT – *STIGONEMA LICHENOIDES* SP. NOV. (NOSTOCALES, CYANOBACTERIA) A NEW SPECIES ISOLATED FROM THE LICHEN *EPHEBE LANATA*

E.N. Patova, D.M. Shadrin, I.V. Novakovskaya

*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: patova@ib.komisc.ru*

Цианобактерии рода *Stigonema* встречаются с высоким обилием или часто доминируют в сообществах различных биотопов по всему миру, а также являются фотобионтами ряда лишайников, в том числе, рода *Ephebe* Fr. [1, 2]. Однако при идентификации цианобактерий в симбиозе с грибами возникают трудности. Не исключение и виды рода *Stigonema*, образующие лишайники рода *Ephebe* (Ascomycota, Lichinales, Lichenaceae). Грибной компонент данного лишайника обитает в слизи крупных кустистых видов рода *Stigonema*, пронизывая основные и боковые ветви талломов, поэтому лишайники данного рода не отличаются по внешнему облику от дерновинок *Stigonema*, что подробно было описано в работе А. А. Еленкина [1]. *Ephebe* – космополитный род цианобионтных лишайников, насчитывающий 12 видов [2, 3]. На северо-востоке европейской части России в северных регионах Урала обитает только один вид – *Ephebe lanata* (L.) Vain., отмеченный однажды на Приполярном Урале Я. Хермассон и Т. Н. Пыстиной [4]. Благодаря способности цианобактерии фиксировать молекулярный азот [5], этот вид лишайника может осваивать каменистые субстраты, лимитированные по содержанию биогенных элементов, но находки вида в горных тундрах Урала единичны [4].

Образец цианобактерии (SYKO № 1017-А, NCBI – MT090674) фотобионта лишайника *E. lanata* был собран авторами статьи 19.06.2018 на Северном Урале в окрестностях г. Пеленья (63°23'07"N, 58°54'20"E, 794 м н. у. м.) на валуне по краю углубления с накопившимися атмосферными осадками. Район исследований расположен на северо-востоке европейской части России, в Вуктыльском административном районе Республики Коми и входит в границы национального парка «Югыд ва».

Применение морфологического и молекулярно-филогенетического анализа с использованием последовательностей 16S-23S рРНК, а также сравнение полученных последовательностей образцов с данными, имеющимися в базе NCBI, позволило описать новый для науки вид цианобактерии. Анализируемый вид отличается формой роста колоний, крупными размерами основных нитей и вегетативных клеток, формированием в старых частях нитей хроококкоидных пакетов, объединяющих по 4-12 клеток, а также гормогониями небольших

размеров, формирующихся на боковых ветвях. Сравнительный анализ последовательностей гена 16S рРНК исследуемого нами образца с последовательностями, взятыми из баз генетических данных NCBI [6] и BOLD Systems [7], показал высокое сходство с представителями рода *Stigonema* и объединил их в одну хорошо поддерживаемую монофилетическую кладу. При этом, исследуемый образец не сгруппировался на молекулярно-филогенетическом дереве ни с одним из сравниваемых видов, о чем свидетельствует низкий уровень его нуклеотидного сходства с наиболее близко расположенными к нему на дереве видами. Анализ генетических дистанций показал, что минимальный порог отличия нашего образца от других видов, включенных в анализ, составил 2.3 %. При этом между другими сравниваемыми видами данный порог был на порядок ниже и составил 0.2 %, что указывает на самостоятельность исследуемого образца.

Соотнесение морфологических и молекулярных данных позволило выделить новый вид *Stigonema lichenoides* Patova, Novakovskaya, Shalygin et Shadrin, sp. nov. – фотобионта цианобионтного лишайника *Ephebe lanata* [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Еленкин, А. А. Синезеленые водоросли СССР. Монография пресноводных и наземных Cyanophyceae, обнаруженных в пределах СССР. Общая часть / А. А. Еленкин. – М.-Л., 1936. – 682 с.
2. Stenroos, S. Suomen jäkäläopas [Lichen Flora of Finland]. Norrlinia 21 / S. Stenroos, T. Ahti, K. Lohtander, L. Myllys (Eds.). – Helsinki, 2011. – 534 p.
3. James, P. Nordic Lichen Flora. Vol. 3. Cyanolichens / P. James. – Uddevalla, 2007. – 219 p.
4. Myrdal, M. Botany (UPS) / M. Myrdal. – Museum of Evolution, Uppsala Universit, 2022. – Occurrence dataset. – <https://doi.org/10.15468/ufmslw> accessed via GBIF.org (Data of access: 26 IX 2023).
5. Hitch, C. J. B. Nitrogen metabolism in lichens. VII. Nitrogenase activity and heterocyst frequency in lichens with blue-green phycobionts / C. J. B. Hitch, J. W. Millban // *New Phytologist*. – 1975. – N 75(2). – P. 239–244.
6. NCBI. 2023. National Center for Biotechnology Information. – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> (Data of access: 26 IX 2023).
7. BOLD Systems. 2023. – <http://www.boldsystems.org> (Data of access: 10 III 2023).
8. *Stigonema lichenoides* sp. nov. (Nostocales, Cyanobacteria): новый вид, выделенный из лишайника *Ephebe lanata* / Е. Н. Патова, Д. М. Шадрин, С. С. Шалыгин, И. В. Новаковская // *Новости систематики низших растений*. – 2023. – Т. 57, № 2. – С. А15–А31.

НЕВЫЯВЛЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ НАКИПНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *CIRCINARIA*

А.Г. Пауков¹, Е.А. Давыдов², А.Б. Исмаилов³, Е.Э. Мучник⁴, Г.П. Урбанавичюс¹
¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

²Алтайский государственный университет, 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61

³Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45

⁴Институт лесоведения РАН, 143030, Московская обл., г. Одинцово,
с. Успенское, ул. Советская, д. 21

e-mail: alexander_paukov@mail.ru

UNDISCLOSED DIVERSITY OF CRUSTOSE REPRESENTATIVES OF GENUS *CIRCINARIA*

A.G. Paukov¹, E.A. Davydov², A.B. Ismailov³, E.E. Muchnik⁴, G.P. Urbanavichus¹

¹Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Eltsin,
19 Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russia

²Altai state university, 61 Lenina Ave., Barnaul, 656049 Russia

³Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre RAS,
45 Gadgiev St., Makhachkala, Republic Dagestan, 367000 Russia

⁴Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences,

21 Sovetskaya St., v. Uspenskoe, Odyntsovo, Moscow Region, 143030 Russia

e-mail: alexander_paukov@mail.ru

Род *Circinaria* является вторым по численности видов в семействе *Megasporaceae* и включает по литературным данным 40 видов [1]. К роду относят кочующие, кустистые прямостоячие, умбиликатные и накипные виды. К первым трем группам принадлежат 16 видов рода, и их выявленное разнообразие существенно не меняется – за десять лет описан только один кочующий вид из Греции [2]. Накипные представители рода *Circinaria* более разнообразны, но их изучение существенно затруднено невысоким морфологическим разнообразием, отсутствием вторичных метаболитов у большинства видов и схожими размерами спор; таким образом, признаки, наиболее часто используемые в лишенологии для определения видов, имеют невысокую диагностическую ценность. В этой связи морфологические признаки приобретают в диагностике существенную роль. В то же время, при определении видов *Circinaria* по морфологическим параметрам возникает сложность, связанная с «аттрактивностью» ряда легко диагностируемых морфологических признаков. Так, виды рода, имеющие лопастной таллом и оливковую окраску, диагностируют как *Circinaria maculata* (H. Magn.) Q. Ren., эпилитные карликово-кустистые образцы – как *C. transbaicalica* (Oxner) Q. Ren, талломы с белой окраской, произрастающие на известняке определяют как *C. calcarea* (L.) A. Nordin, S. Savic & Tibell. Тем не менее, изучение дополнительных признаков, таких как положение апотециев, особенности строения ареол, длина пикноконидий, позволяет выявить различия между образцами в пределах этих групп. В то же время, учитывая вариабельность талломов в зависимости от стадии онтогенеза или особенностей местообитания, выявление систематически значимых признаков представляет собой непростую задачу для исследователя.

Использование молекулярных методов позволяет обоснованно подходить к разграничению таксонов в роде *Circinaria*. В ходе исследований нами обнаружено, что существуют группы образцов, определяемых и хранимых в гербариях под одним названием, но представляющих собой разные виды, отличающиеся морфологическими, анатомическими и экологическими особенностями. Так, *Circinaria transbaicalica* s.l. представляет собой комплекс из четырех близких видов, сложно различимых морфологически, но отличающихся экологическими особенностями и распространением. Близкородственный ему комплекс *Circinaria maculata* s.l. включает в себя шесть видов, распространенных от Средиземноморья до штата Аризона в США. Светлоокрашенные образцы, определяемые как *C. calcarea*, значительно

более разнообразны и, как показывают молекулярные исследования, представляют собой неродственные виды, морфологически схожие в связи с обитанием на освещенных сухих известняках. Группа видов с толстым оливковым талломом и крупными сидячими апотециями, ранее называвшихся *Aspicilia desertorum*, также включает неродственные, но морфологически трудноотличимые таксоны. Она объединяет четыре вида, которые могут быть диагностированы с использованием длины пикноконидий и строения апотециев. Многие образцы из России, произрастающие на известковых горных породах, с темно-оливковым талломом и небольшими кратеровидными апотециями, определяют как *Circinaria hoffmanniana* (S. Ekmanet Fröbergex R. Sant) A. Nordin, однако, к этому виду достоверно могут относиться только образцы из Скандинавии и Средиземноморья. Материал, собранный на Кавказе, Урале и Забайкалье, демонстрирует филогенетическую близость к *Aspicilia (Circinaria) aquatica* (Fr.) Körb., однако отличается строением апотециев и особенностями экологии, встречаясь в сухих местообитаниях.

С целью выявления разнообразия рода и корректного определения видов, относящихся к нему, необходимо провести поиск и изучение типовых образцов в гербариях, изучить последовательности ДНК, уделяя особое внимание материалу, собранному в типовых местообитаниях видов. Третьей задачей является построение филогенетического дерева с использованием максимального количества имеющихся последовательностей для обнаружения их филогенетической близости или различий. Далее, изучая морфологические и анатомические признаки образцов, относящихся к одной поддержанной ветви, определить таксономически значимые признаки, которые могут быть использованы при диагностике видов.

Исследование проведено при поддержке РФФИ (Грант 23-44-00070).

ЛИТЕРАТУРА

1. Outline of Fungi and fungus-like taxa – 2021 / N. N. Wijayawardene, K. D. Hyde, D. Q. Dai, M. Sánchez-García, B. T. Goto, R. K. Saxena, M. Erdoğan, F. Selçuk, K. C. Rajeshkumar, A. Aptroot et al // *Mycosphere*. – 2022. – Vol. 13. – P. 53–453.
2. *Circinaria nimisii* (Megasperaceae, lichenized Ascomycota), a new manna lichen from Greece / M. Sohrabi, S. D. Leavitt, W. Obermayer, H. Mayrhofer // *Lichenologist*. – 2023. – Vol. 55. – P. 367–376.

ДЕВСТВЕННЫЙ ЛЕС РЕСПУБЛИКИ КОМИ: ПОРОДНЫЙ СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРА

В.В. Пахучий, Л.М. Пахучая

*Сыктывкарский лесной институт Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»,
167000, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39
e-mail: pakhutchy@rambler.ru*

VIRGIN FOREST OF THE KOMI REPUBLIC: SPECIES COMPOSITION, SIZE DISTRIBUTION AND STAND STRUCTURE

V.V. Pahuchij, L.M. Pahuchaja

*Syktvykar Forestry Institute of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov»,
39 Lenina St., Syktvykar, 167000 Russia
e-mail: pakhutchy@rambler.ru*

Республика Коми является одним из немногих регионов России, где сохранились ненарушенные влиянием человека леса. Основные массивы ненарушенных лесов расположены

на западном склоне Урала, в том числе, на территории национального парка «Югыд ва» и Печоро-Илычского заповедника. Признанием уникальности рассматриваемых территорий и лесных массивов является их включение ЮНЕСКО в 1995 г. в Список всемирного культурного и природного наследия под условным названием «Девственные леса Коми».

В отечественной и зарубежной литературе, наряду с термином «девственный лес», используются определения «коренной лес», «первобытный лес», «спонтанная тайга», «ненарушенный лес», «малонарушенный лес», «старый лес», «неосвоенный лес» и др. [1, 2]. В качестве общих положений, определяющих сущность понятия «девственный лес», применительно к лесному массиву, могут быть приняты следующие: исключение воздействия человека на все насаждения, слагающие лесной массив; допустимость воздействия на отдельные насаждения или фрагменты лесного массива катастрофических природных явлений (пожары, ветровалы, буреломы и т.д.); наличие в структуре лесного массива насаждений, которые могут быть отнесены к девственным. В свою очередь, девственные насаждения – это насаждения, развивавшиеся без влияния человека и включающие в структуру древостоя не менее одного поколения породы-эдикатора, формировавшегося без воздействия катастрофических природных явлений в течение периода, близкого к возрасту естественной спелости данной породы в конкретных почвенных и климатических условиях.

Девственные лесные сообщества в Республике Коми включены в систему особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В настоящее время к лесам, расположенным на ООПТ, отнесены леса Печоро-Илычского государственного природного биосферного заповедника, национального парка «Югыд ва» и национального парка «Койгородский». Кроме этого, в границах территории Республики Коми функционируют система ООПТ регионального (республиканского) и местного (районного) значения.

К территориям с более высокой вероятностью сохранности ненарушенных лесов, прежде всего, следует отнести лесничества, прилегающие к главному водоразделу Уральского хребта (Комсомольское, Печоро-Илычское, Вуктыльское, Печорское) и Национальный парк «Югыд ва», а также северные лесничества (Усть-Цилемское, Ижемское, Усинское, Каджеромское). Здесь доля спелых и перестойных лесов может превышать 80 %. При этом особую ценность представляют массивы ненарушенной влиянием человека темнохвойной с кедром тайги или сохранившиеся фрагменты таких массивов [3].

Таксационное описание насаждений выполняли общепринятыми в лесной таксации методами. Типы леса приняты по типологии В.Н. Сукачева. Классы бонитета определяли по шкале М.М. Орлова. Для условий Комсомольского лесничества была разработана шкала для глазомерного отнесения ели в насаждениях черничного влажного типа леса к 40-летним условно одновозрастным поколениям (табл.).

Таблица

Шкала глазомерного отнесения ели к условно одновозрастным 40-летним поколениям

| Высота верхней границы зоны с пластинчато-трещиноватой корой, м | Диаметр ствола на высоте 1.3 м, см | | | | | | |
|---|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | до 4 | 5-16 | 17-24 | 25-32 | 33-40 | 41-48 | более 48 |
| до 0.5 | 41-80 | 81-120 | - | - | - | - | - |
| 0.6-1.5 | 41-80 | 81-120 | 81-120 | 121-160 | - | - | - |
| 1.6-2.5 | 41-80 | 81-120 | 121-160 | 121-160 | 121-160 | 161-200 | - |
| 2.6-3.5 | 81-120 | 121-160 | 121-160 | 121-160 | 121-160 | 161-200 | - |
| 3.6-4.5 | - | 121-160 | 161-200 | 161-200 | 161-200 | 161-200 | 201-240 |
| 4.6-6.5 | - | 161-200 | 161-200 | 161-200 | 161-200 | 161-200 | 201-240 |
| 6.6-8.0 | - | - | 201-240 | 201-240 | 201-240 | 201-240 | 201-240 |
| более 8.0 | - | - | 241-280 | 241-280 | 241-280 | 241-280 | 241-280 |

Основной объем исследований выполнен в Комсомольском лесничестве республики. Примеры таксационного описания девственных насаждений и характеристики естественного возобновления на пробных площадях в этом лесничестве опубликованы [1].

Девственные темнохвойные насаждения в бассейне р. Уньи в основном относятся к черничному влажному и крупно-папоротниковому типу леса. Пихтово-еловые и пихтово-кедрово-еловые насаждения с березой черничного влажного типа леса располагаются на склонах различных экспозиций с уклонами 1.5-4°. Древостои по форме сложные двух-, трехъярусные. Полнота ярусов и общий запас древесины в зависимости от состава насаждений и возраста элементов леса изменяются в широком диапазоне. В составе естественного возобновления доминируют ель и пихта. Преобладает подрост средней категории крупности (высота 0.6-1.5 м). Подлесок редкий из рябины, малины. В составе травяно-кустарничкового яруса доминируют черника, хвощ лесной, осоки. В моховом покрове преобладает кукушкин лен, рассеянно встречается *Pleurozium schreberi*, изредка – *Hylocomium splendens*, сфагновые мхи.

Смешанные темнохвойные насаждения крупно-папоротникового типа леса располагаются на склонах различных экспозиций с уклонами 3-6°. Древостои опытных участков двухъярусные. В составе естественного возобновления доминирует ель и пихта. Преобладает подрост средней категории крупности (высота 0.6-1.5 м). В подлеске изредка встречается рябина, малина, шиповник иглистый. В составе травяно-кустарничкового яруса доминируют папоротники, хвощ лесной, осоки. Мохово-лишайниковый покров развит слабо. По микроповышениям встречается *Pleurozium schreberi*, по микропонижениям – сфагновые мхи.

Расчеты, выполненные по данным перечета с разделением деревьев по 4-см ступеням толщины и условно одновозрастным 40-летним поколениям ели, показывают, что средневзвешенный возраст ели через запас условно одновозрастных 40-летних поколений изменяется в пределах от 159 до 199 лет. Таким образом, наиболее представлены древостои 160-200 лет, что согласуется с исследованиями С.А. Дыренкова [4].

Данные распределения экземпляров и запасов ели по грациям возраста и толщины подтверждают установленные общие закономерности распределения деревьев по ступеням толщины и разрядам возраста. Ценопопуляции ели представлены в 4-см ступенях толщины от появления всходов до формирования крупномерных деревьев. Отпад наблюдается во всех ступенях толщины: в абсолютном выражении он тем больше, чем младше особи. В рядах распределения по ступеням толщины до возраста 160 лет отмечается смещение максимума количества экземпляров влево от середины ряда. В отдельных случаях наблюдается разрыв рядов распределения. Наличие разрывов может быть связано с процессами смены поколений.

Распределение общего количества экземпляров пихты по ступеням толщины близко к распределению для ели, однако ряды более сжаты ввиду меньшей продолжительности жизни пихты по сравнению с елью. Ценопопуляции ели по 40-летним условно одновозрастным поколениям непрерывны от появления всходов до предельного возраста 280 лет. Распределение ели по 40-летним разрядам возраста может быть отражено ломаной линией. При этом младшие разряды возраста представлены тысячами, старшие разряды – десятками, а средние – сотнями экземпляров.

В процессе перехода доминирования от одной породы к другой, смены поколений основных лесообразующих пород изменяется внешний облик насаждений, их форма (вертикальная структура). На I стадии возрастного развития темнохвойных насаждений черничного влажного типа леса (стадия распада верхних ярусов насаждения и преобладания в общем запасе насаждения ели) формируются одно- и двухъярусные насаждения. Первый ярус слагают береза и ель, второй (при его наличии) – пихта. Высота первого яруса 11-12 м. Для данной стадии характерны наибольшие запасы мертвой древесины и наименьшие – наличного древоостоя.

На II стадии возрастного развития темнохвойного леса (стадия восстановления) формируются, как правило, двухъярусные насаждения. Высота первого яруса составляет 16-17 м, второго – около половины высоты первого яруса. Первый ярус слагают ель и береза,

второй – пихта и кедр. Общий запас насаждения увеличивается приблизительно на 20 % по сравнению с запасом насаждения на I стадии. В то же время запас мертвой древесины уменьшается до величины, близкой к среднему значению данного показателя ($46 \text{ м}^3/\text{га}$) для I-IV стадий развития.

III стадия развития (стадия кульминации общего запаса насаждения и преобладания в запасе насаждения кедра) характеризуется усложнением формы насаждений, проявляющемся в формировании двух- и трехъярусных насаждений. Высота первого яруса превышает 20 м. Первый ярус, как правило, слагает кедр, второй – ель или пихта, ель с пихтой или березой, третий – пихта, ель. Общий запас насаждения достигает $200 \text{ м}^3/\text{га}$ или превышает эту величину. В то же время запас мертвой древесины уменьшается до $20\text{-}21 \text{ м}^3/\text{га}$.

На IV стадии развития (стадия перестойности и начала распада верхних ярусов насаждения) сохраняется двух- и трехъярусная вертикальная структура насаждений. Состав, высота ярусов насаждений, наличный запас древостоев и запас мертвой древесины близки к таковым для насаждений, находящихся на II стадии развития.

Выполненные исследования свидетельствуют о важности изучения уникального природного явления, к которому можно отнести девственные таежные леса. На основании исследований структуры и динамики ненарушенных человеком лесных экосистем можно решать вопрос о критериях отнесения насаждений и лесных массивов к категории девственных, обосновывать целесообразность выделения площадей с такими лесами в класс особо охраняемых природных территорий, прогнозировать состояние сохранившихся девственных лесов на ближайшую и отдаленную перспективу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пахучий, В. В. Девственные леса Северного Приуралья / В. В. Пахучий – СПб. : Наука, 1999. – 137 с.
2. Schuck, A. Review of approaches to forestry research on structure, succession and biodiversity of undisturbed and semi-natural forests and woodlands in Europe / A. Schuck, J. Parviainen, W.A. Bucking. – Joensuu, 1994. – 62 p.
3. Непомилуева, Н. И. Кедр сибирский на северо-востоке европейской части СССР [Текст] / Н. И. Непомилуева – Л. : Наука, 1974. – 184 с.
4. Дыренков, С. А. Структура и динамика таежных ельников / С. А. Дыренков. – Л. : Наука, 1984. – 174 с.

РОЛЬ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *UMBILICARIA* В ФОРМИРОВАНИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВЫХОДОВ ГОРНЫХ ПОРОД ЗАПОВЕДНИКА «ВИШЕРСКИЙ»

К.О. Печенкина, А.Е. Селиванов

*Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет,
614000, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 24
e-mail: pechenkina.ksusha@yandex.ru*

THE ROLE OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS *UMBILICARIA* IN THE FORMATION OF VEGETATION COVER OF ROCKS OUTPUTS IN «VISHERSKY» RESERVE

K.O. Pechenkina, A.E. Selivanov

*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Perm State Humanitarian Pedagogical University», 24 Sibirskaja St., Perm, 614000 Russia
e-mail: pechenkina.ksusha@yandex.ru*

Лишайники рода *Umbilicaria* широко представлены на выходах кислых силикатных горных пород в северном полушарии и имеют важную фитоценотическую роль в сложении растительного покрова лесных и тундровых сообществах в горах. Важнейшей сводкой о ви-

довом составе рода *Umbilicaria* на территории заповедника является аннотированный список видов лишайников, представленный в монографии [1].

В нашей работе впервые изложены результаты изучения влияния характеристик местообитания на роль видов рода *Umbilicaria* в сложении лишайниковых сообществ на территории заповедника «Вишерский». В ходе работ были выполнены описания сообществ на выходах горных пород хребтов Чувальский Камень, Мунин-Тумп и Тулымский Камень. В ходе полевого этапа было заложено учетных площадок в количестве 321 (30×30 см). Полевые исследования включали закладку учетных площадок, трансект (хребет Тулымский Камень), сбор образцов, описание характеристик местообитания: высота над уровнем моря, уклон площадки, экспозиция, освещенность. Камеральный этап работы проводился на кафедре биологии и географии ПГГПУ в лаборатории биоразнообразия и экологии растений и лишайников грибов. В камеральных условиях проведено исследование кислотности и влагоемкости субстрата [2], идентификация видов согласно стандартной методике [3], используя определитель «Флора лишайников России» [4].

На выходах горных пород изученной территории виды рода *Umbilicaria* являются важнейшим компонентом растительного покрова. По встречаемости и проективному покрытию они уступают лишь представителям рода *Rhizocarpon*. Из данных, приведенных в таблице 1, видно, что наиболее часто встречается *Umbilicaria hyperborea* (Ach.) Hoffm., а наибольшего проективного покрытия достигает *Umbilicaria deusta* (L.) Baumg.

Зависимость встречаемости видов рода *Umbilicaria* от высоты н. у. м. не линейная, положительная корреляция с высотой имеется до высоты 1200 м, затем наблюдается снижение встречаемости, что можно объяснить более суровыми условиями среды. По мере увеличения высоты можно выделить несколько рубежей (табл. 2), где устойчиво сменяются характеристики сообществ по показателям проективного покрытия и количества видов. Как видно по данным таблицы 2, *Umbilicaria hyperborea* (Ach.) Hoffm. формирует ассоциации с лишайниками рода *Rhizocarpon* выше 1200 м.

Таблица 1

Встречаемость и проективное покрытие представителей рода *Umbilicaria*

| № п.п. | Вид | Встречаемость (%) | Проективное покрытие, % | | |
|--------|---|-------------------|-------------------------|------|----------|
| | | | мин | макс | сред |
| 1 | <i>Umbilicaria cylindrica</i> (L.) Delise | 22 | 0.2 | 10 | 1.9±0.56 |
| 2 | <i>Umbilicaria deusta</i> (L.) Baumg. | 12 | 0.4 | 23.8 | 4.4±1.88 |
| 3 | <i>Umbilicaria hirsuta</i> (Sw. ex Westr.) Ach. | 1 | 6 | 6 | - |
| 4 | <i>Umbilicaria hyperborea</i> (Ach.) Hoffm. | 94 | 0.1 | 21.5 | 3.5±0.40 |
| 5 | <i>Umbilicaria pensylvanica</i> Hoffm. | 10 | 1 | 10 | 1.4±0.31 |
| 6 | <i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg. | 14 | 1.1 | 8.9 | 6.6±2.50 |
| 7 | <i>Umbilicaria proboscidea</i> (L.) Schrad. | 34 | 0.2 | 12 | 4.6±0.68 |
| 8 | <i>Umbilicaria rossica</i> (Domb.) N.S. Golubk. | 21 | 0.5 | 22 | 3.2±1.10 |
| 9 | <i>Umbilicaria torrefacta</i> (Lightf.) Schrad. | 3 | 1 | 13 | - |
| 10 | <i>Umbilicaria vellea</i> Hoffm. | 9 | 0.1 | 15 | 4±3.03 |

Таблица 2

Некоторые ассоциации лишайников и их характеристики

| Высота н. ур. м. | Ассоциация | Покрытие накипных (%) | Покрытие листоватых (%) | Покрытие кустистых (%) | Среднее число видов |
|------------------|--|-----------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| 900 | <i>Arctoparmelia centrifuga</i> – <i>Rhizocarpon</i> sp. | 69 | 18 | 0 | 7.4 |
| 1200 | <i>Rhizocarpon</i> sp. – <i>Umbilicaria hyperborea</i> | 56.1 | 11.7 | 0 | 6 |
| 1454 | <i>Rhizocarpon</i> sp. – <i>Umbilicaria hyperborea</i> | 58.3 | 13.9 | 0.2 | 4.4 |

Регрессионный анализ характеристик лишайникового покрова в зависимости от параметров среды показал, что проективное покрытие лишайников рода *Umbilicaria* в описании значимо изменяется в зависимости от угла наклона поверхности субстрата. Коэффициент ранговой корреляции (rs) составляет -0.71 ($p < 0.05$), что отражает существование отрицательной корреляционной связи между фактором уклона и покрытием видов на площадке.

Критерий Краскела-Уоллиса показал, что имеются различия ($p < 0.05$) между проективным покрытием на площадке в выборках с разной экспозицией. Встречаемость видов больше с южной стороны и меньше с северной. Однако анализ проективного покрытия демонстрирует противоположные тенденции: на площадках северной экспозиции слоевища формируются более крупные, а на площадках южной экспозиции, где света больше, количество умбиликатных слоевищ возрастает, но их площадь небольшая. Проективное покрытие и число видов статистически значимо ($p < 0.05$) увеличивается в слабощелочной среде в сравнении с нейтральным уровнем pH. Статистически значимой закономерности между влагоемкостью субстрата и мощностью светового потока не выявлено в силу небольшой выборки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Растительность и флора, грибы, лишайники заповедника «Вишерский» / Т. П. Белковская, Л. Г. Переведенцева, О. И. Мухутдинов, А. Е. Селиванов, П. Н. Бахарев, И. В. Прокошева. – Соликамск, 2014. – 400 с.
2. Исследование физико-химических характеристик субстратов эпилитных лишайников / А. Е. Селиванов, К. О. Печенкина, И. А. Лебединский, Е. А. Щипанова // Лишайники: от молекул до экосистем : Программа и тезисы докладов Международной конференции, Сыктывкар, 09-12 сентября 2019 г. – Сыктывкар : Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2019. – С. 75–78.
3. Флора лишайников России: Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников / Отв. ред. М. П. Андреев, Д. Е. Гимельбрант. – М.; СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 392 с.
4. Флора лишайников России: Род *Protopermatelia*, семейства *Coenogoniaceae*, *Gyalectaceae* и *Umbilicariaceae* / Отв. ред. М. П. Андреев, Д. Е. Гимельбрант. – М.; СПб., 2017. – 195 с.

ФОТОСИНТЕЗ ДОМИНАНТНЫХ ВИДОВ СУБАРКТИЧЕСКИХ ЛИШАЙНИКОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЗОНЫ ОХВАТА СТАНЦИИ ВЫСОТНОЙ МАЧТЫ ZOTTO

Д.А. Полосухина^{1,2}, А.С. Прокушкин^{1,2}

¹*Институт леса им. В.Н. Сукачева Красноярского научного центра Сибирского отделения РАН, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50/28*
²*Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободы, 79*
e-mail: polosukhina@ksc.krasn.ru

PHOTOSYNTHESIS IN THE WIDESPREAD AND IMPORTANT SUB-ARCTIC LICHENS SPECIES IN PINE ECOSYSTEMS OF THE ZOTTO TOWER FOOTPRINT AREA

D.A. Polosukhina^{1,2}, A.S. Prokushkin^{1,2}

¹*Sukachev Institute of Forest SB RAS, 50/28 Akademgorodok St., Krasnoyarsk, 660036 Russia*
²*Siberian Federal University, 79 Svobody Ave., Krasnoyarsk, 660041 Russia*
e-mail: polosukhina@ksc.krasn.ru

Криптогамные сообщества (водоросли, бриофиты и лишайники), поглощают около 3.9 Пг С в год, что соответствует 7 % чистого экосистемного обмена (NEE) наземной растительности [1]. Лишайники преобладают в 12 % всех природных экосистем [2], из которых эпигейные виды доминируют в 8 % [3]. Создавая сложную синузильную структуру в тунд-

ровых, болотных и лесных сообществах лишайники являются доминантами и содоминантами в местообитаниях с наиболее экстремальными экологическими условиями по увлажнению [1-3]. Однако функциональные и биохимические свойства лишайников и их компонентов (фото- и микобионта) недостаточно изучены.

Целью данной работы являлось количественное определение интенсивности фотоассимиляционных потоков углерода и содержания фотосинтетических пигментов у доминантных видов лишайников сосновых лесов Средней Сибири в течение вегетационного периода. Исследования выполнялись на базе Средне-Енисейского стационара Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (60° с.ш., 89° в.д.). Объектами исследования выступали доминантные виды эпигейных лишайников: *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *Cladonia rangiferina* (L.) F. H. Wigg. и *Cetraria islandica* (L.) Ach.

Фотосинтетическую активность регистрировали с помощью портативной системы газообмена (GFS-3000, Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Germany) со специализированной кюветой для лишайников/мхов 3010-V32. Измерения проводили для каждого вида в 3 биологических повторностях и 10 аналитических (масса образца влажного таллома 3-5 г). Скорость ассимиляции CO₂ (A, мкмоль м⁻²с⁻¹) регистрировали ежемесячно в течение вегетационного периода. Непосредственно после измерения A производили экстракцию фотосинтетических пигментов диметилсульфоксидом (ДМСО) согласно методике Барнеса [4]. Концентрация пигментов в полученных экстрактах определена на основе анализа спектров поглощения в диапазоне 350-700 нм [5], полученных на спектрофотометре Varian Cary 100 (Agilent Corp., США). Значения содержания фотосинтетических пигментов пересчитывали на абсолютно сухую массу.

В течение вегетационного периода выявлены значительные колебания величин фотосинтеза у исследованных видов лишайников, от 8.62±0.02 мг CO₂/м²ч в июне до 33.41±0.15 мг CO₂/м²ч в августе (CV =35.6). Исходя из результатов двухфакторного дисперсионного анализа, фактор вида играет несколько меньшую роль (p=0.09) по сравнению с фактором времени (p=0.02). Максимальное поглощение CO₂ наблюдалось у вида *C. stellaris*, варьируя от 12.43±0.21 мг CO₂/м²ч до 33.41±0.15 мг CO₂/м²ч, за исключением июня. В июне месяце максимальные величины фотосинтеза выявлены у *C. rangiferina* (19.92±0.13 мг CO₂/м²ч). Для вида *C. islandica* (L.) фотосинтетическая активность варьировала от 8.62±0.02 мг CO₂/м²ч в июне до 11.70±0.15 мг CO₂/м²ч в августе.

Анализ содержания фотосинтетических пигментов в талломах лишайников выявил наличие сезонной динамики (p=0.152) и отсутствие видовой специфики (p=0.628). Более высокие значения содержания пигментов отмечены у вида *C. islandica*: хлорофиллов – от 0.59±0.09 до 0.88±0.30 мг/г, каротиноидов – от 0.09±0.02 до 0.16 ± 0.01 мг/г. Для вида *C. stellaris* сумма хлорофиллов варьировала от 0.44±0.06 до 0.66±0.13 мг/г, каротиноидов – от 0.10±0.04 до 0.13 ± 0.02 мг/г. Наименьшим содержанием пигментов характеризовался вид *C. rangiferina*. Количество хлорофиллов в его талломах изменялось от 0.36±0.11 до 0.55±0.02 мг/г, каротиноидов – от 0.10±0.03 до 0.16±0.01 мг/г. Отношение Хл a/b у исследуемых видов варьирует от 1.3 до 3.0; отношение Хл/Кар изменяется в диапазоне от 3.6 до 5.6. Значительная часть пигментного фонда представлена антенными хлорофиллами: *C. islandica* (90-95 %), *C. stellaris* (59-65 %), *C. rangiferina* (56-67 %). Установлена тесная связь содержания зеленых и желтых пигментов (r =0.95, p< 0.05).

Наиболее высокими значениями фотоассимиляции CO₂ обладает *C. stellaris*, при относительно невысоком содержании фотосинтетических пигментов в его талломе. *C. islandica* с наименьшей влажностью талломов характеризуется пониженной фотосинтетической активностью, однако, имеет наибольший пул фотосинтетических пигментов. Таким образом, количество пигментов пластид эпигейных лишайников не является ключевым фактором, определяющим фотосинтетическую активность изученных видов, а в большей степени контролируется видоспецифичной влажностью их талломов.

Исследование реализовано при поддержке инновационного проекта государственного значения: «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (№123030300031-6). Выделение фотосинтетических пигментов выполнено в рамках государственного задания № FWES-2024-0040.

ЛИТЕРАТУРА

1. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen / W. Elbert, B. Weber, S. Burrows, J. Steinkamp, B. Büdel, M. O. Andreae, U. Pöschl // *Nature Geoscience*. – 2012. – Vol. 5, N 7. – P. 459–462. – <https://doi.org/10.1038/ngeo1486>
2. Roth, R. Lichen 1. Solo fungal and algal partners / R. Roth, U. Goodenough // *Algal Research*. – 2021. – Vol. 58. – P. 102334.
3. Nash III, T. H. The carbon economy of lichens / T. H. Nash III // *Lichen biology*. – 2008. – P. 182–215.
4. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants/ J. D. Barnes, L. Balaguer, E. Manrique, S. Elvira, A.W. Davison // *Environmental and Experimental Botany*. –1992. – N 32. – P. 85–100.
5. Wellburn, A. R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution / A. R. Wellburn // *Journal of plant physiology*. – 1994. – Vol. 144, N 3. – P 307–313.

ЛИШАЙНИКИ КАК ОБЪЕКТ ЭКОПРОСВЕТИТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАНЯТИЙ В ГБС РАН)

Г.Ю. Попова, Е.В. Прусс, С.А. Сенатор

*Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН,
127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 4, стр. 1
e-mail: g.popova68@mail.ru*

LICHENS AS AN OBJECT OF ENVIRONMENTAL EDUCATION (BASED ON THE EXAMPLE OF CLASSES AT THE MBG RAS)

G.YU. Popova, E.V. Pruss. S.A. Senator

*Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences,
4 Botanicheskaya St., Bldg. 1, Moscow, 127276 Russia
e-mail: g.popova68@mail.ru*

Лишайники – обширная группа организмов, представляющих собой устойчивую ассоциацию микобионтов с фотобионтами. Лишайники встречаются во всех ботанико-географических зонах Земли, а их разнообразие в настоящее время оценивается в 20000 видов и более. Широкая доступность лишайников для наблюдений, а также их уникальные морфофизиологические и экологические характеристики, делают лишайники популярными объектами школьных исследовательских работ, особенно в области экологии и биоиндикации. С разнообразием лишайников можно познакомиться даже в парках такого крупного мегаполиса, как Москва [1-3]. В то же время опыт общения с посетителями просветительских занятий и участниками экскурсий в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) свидетельствует о низком уровне знаний в области лишайников. Многие дети и взрослые не знают лишайники «в лицо», несмотря на имеющиеся теоретические основы из школьного курса биологии. Поэтому дать посетителям ботанического сада представление о лишайниках как объектах живой природы в настоящее время представляется важной образовательной задачей. Работа в этой области способствует развитию приоритетных направлений в сфере организации экологического просвещения и экологического образования, в частно-

сти, формированию в обществе осознанного отношения к ценностям природы и навыков ответственного поведения в природной среде [4].

Отдел дополнительного образования и просвещения ГБС РАН успешно использует лишайники в качестве объекта просветительской работы. На обзорных экскурсиях по дендрарию ботанического сада лишайники, наряду с наземными водорослями и мхами, являются обязательным объектом демонстрации для всех возрастных групп посетителей. Из произрастающих в дендрарии видов лишайников экскурсанты знакомятся с представителями родов *Parmelia*, *Flavoparmelia*, *Xanthoria*, *Physconia*. Для знакомства с лишайниками детей младшего и среднего возраста на просветительских занятиях применяются увеличительные приборы, что всегда воспринимается детьми эмоционально и, следовательно, способствует лучшему восприятию информации. Также детям предоставляется возможность проведения простых экспериментов: тактильно и визуально оценить физические свойства сухого и увлажнённого таллома. На занятиях используется коллекция лишайников различных жизненных форм: *Cladonia stellaris*, *C. rangiferina*, *Cetraria islandica*, *Usnea barbata*, *Peltigera aphthosa*, *Xanthoria parietina* и другие.

Использование лишайников на познавательных-творческих занятиях получает большой отклик у посетителей. В природе из-за малых размеров лишайники часто остаются незамеченными, тогда как в процессе выполнения панно из природных материалов участники занятия знакомятся с различными видами лишайников, у них возникает интерес к их строению, разнообразию и образу жизни. Для творческих работ заготавливаются сухие опавшие ветки деревьев, заросшие лишайниками, обычно это *Hypogymnia physodes*, *Vulpicida pinastri*, *Platismatia glauca*, *Evernia mesomorpha*, *Usnea barbata*, а также талломы кладонии, цетрарии.

Опыт сотрудников отдела дополнительного образования и просвещения ГБС РАН свидетельствует о том, что лишайники вызывают живой интерес у экскурсантов. Включение информации о лишайниках в темы экопросветительских занятий, помимо знакомства с ними как со специфической группой живых организмов, позволяют на их примере обсудить важность сохранения всего биоразнообразия как в локальном, так и в глобальном масштабе.

Авторы признательны к.б.н. Т.Н. Пыстиной (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН) за помощь в определении образцов лишайников, используемых на просветительских занятиях, и консультации по лишайнобиоте дендрария ГБС РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бязров, Л. Г. Видовой состав лишайнобиоты территории большой Москвы. Версия 1 / Л. Г. Бязров. – 2012. – [Электронный ресурс]. – http://www.sevin.ru/laboratories/biazrow_big_msk_2012.html (дата обращения 10.05.2024 г.).
2. Мучник, Е. Э. Дополнения к лишайнобиоте Московского региона / Е. Э. Мучник // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. – 2016. – № 8(161). – С. 52–57.
3. Пчёлкин, А. В. Лишайники природно-ландшафтного парка «Зарядье» (Москва): перспективы мониторинга / А. В. Пчёлкин // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. – 2018. – Т. 123, № 4. – С. 44–48.
4. Итоговая резолюция // 10-ый Невский международный экологический конгресс [Электронный ресурс] (г. Санкт-Петербург, 25-26 мая 2023 г.). – URL Документы Невского международного экологического конгресса (<https://ecocongress.info/congress/>) (дата обращения 10.05.2024 г.).

ЛИТОФИЛЬНАЯ ЛИХЕНОБИОТА ХРЕБТА НУРАЛИ, ЮЖНЫЙ УРАЛ

О.Ю. Попова, А.Г. Пауков

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
e-mail: o.iu.popova@urfu.ru

SAXICOLOUS LICHEN BIOTA OF NURALI RANGE, SOUTH URALS

O.Yu. Popova, A.G. Paukov

Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Eltsin,
19 Mira St., Ekaterinburg, 620002 Russia
e-mail: o.iu.popova@urfu.ru

Первые сведения о лишайниках Южного Урала относятся к XVIII веку, в работе И. Георги приведено 6 видов лишайников с хребта Машак [1], позже список пополняется за счет исследований на хребтах Яман-тау и Иремель [2]. Наиболее полные списки лишайников с хребтов Южного Урала появляются в середине и второй половине XX века: А.Н. Оксер приводит список из 111 видов по Челябинской и Пермской областям, К.А. Рябкова и М. Г. Нифонтова публикуют список из 267 видов для Южного Урала, К.А. Рябкова приводит список лишайников Урала из 545 видов, из них 275 видов обнаружены на Южном Урале [3-5]. На данный момент лишенофлора Южного Урала наиболее полно изучена на охраняемых природных территориях, где проводились регулярные исследования. Есть сведения о видовом составе лишайников с высокогорной части хребта Таганай [6], национального парка «Зюраткуль» [7], государственного заповедника «Оренбургский» [8], Башкирского государственного заповедника [10, 11]. Хребты, расположенные за пределами охраняемых территорий изучены фрагментарно: Яман-Тау [11], Миндяк и Крака [12]. Лишайники хребта Нуралы, несмотря на высокий интерес в связи с его геологическим строением, ранее целенаправленно не изучались.

Хребет Нуралы расположен на севере западного макросклона Южного Урала, находится на сочленении Уралтауского антиклинория и Магнитогорского мегасинклинория и сложен ультраосновными породами, местами подверженными серпентинизации [13]. Встречаются выходы серпентинитов, перидотитов и базальтов [14]. Серпентиниты являются ультраосновной горной породой, богатой тяжелыми металлами, такими как Ni, Cr, Cu и Fe, и обладают высоким соотношением Ca/Mg, в связи с чем разнообразие сосудистых растений на них низкое [15], однако лишайники менее восприимчивы к комплексу условий серпентинитов [12]. Массив Нуралы разделяют на южную и северную части по реке Шерамбай. Высота массива составляет 600-700 м [13]. Климат в районе исследования характеризуют как резкоконтинентальный, что объясняется резким перепадом температур между зимой и летом (+17 °С – в июле, -17 °С – в январе), а также низким количеством осадков, которое в год в среднем составляет 600 мм. Относительная влажность 75-80 %. Растительность окрестностей хребта представлена тайгой со светлохвойными с примесью темнохвойных пород (*Pinus sylvestris* L., *Picea obovata* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb.) и вторичнопроизводными мелколиственными лесами с *Betula pendula* Roth. Склоны покрыты петрофитной и лесостепной растительностью.

Результаты и обсуждение

В ходе работ на хребте Нуралы выявлено 62 вида эпилитных и эпигейдных лишайников (табл.). По числу видов преобладают семейства *Lecanoraceae*, *Teloschistaceae*, *Megasporaceae* и *Physciaceae*, что отличается от данных по серпентинитам Урала [12, 16], где преобладают *Physciaceae*, *Cladoniaceae* и *Parmeliaceae*. Такое различие можно объяснить значительно более аридными условиями на хребте по сравнению с другими исследованными серпентинитами. Преобладания семейства *Megasporaceae* ранее не наблюдалось, это мы связываем с расширением знания этой группы на Урале.

Систематическая структуры эпилитной и эпигейдной лихенофлоры хребта Нурали

| Семейство | Род | Количество видов | Всего |
|-------------------------|-----------------------|------------------|-------|
| <i>Lecanoraceae</i> | <i>Lecanora</i> | 5 | 10 |
| | <i>Lecidella</i> | 2 | |
| | <i>Rhizoplaca</i> | 2 | |
| | <i>Scoliciosporum</i> | 1 | |
| <i>Teloschistaceae</i> | <i>Athallia</i> | 1 | 9 |
| | <i>Caloplaca</i> | 1 | |
| | <i>Parvoplaca</i> | 1 | |
| | <i>Pisutiella</i> | 1 | |
| | <i>Pyrenodesmia</i> | 1 | |
| | <i>Rufoplaca</i> | 1 | |
| | <i>Rusavskia</i> | 2 | |
| | <i>Variospora</i> | 1 | |
| <i>Megasporaceae</i> | <i>Aspicilia</i> | 3 | 8 |
| | <i>Circinaria</i> | 2 | |
| | <i>Lobothallia</i> | 3 | |
| <i>Physciaceae</i> | <i>Phaeophyscia</i> | 3 | 8 |
| | <i>Physcia</i> | 2 | |
| | <i>Physconia</i> | 1 | |
| | <i>Rinodina</i> | 1 | |
| <i>Cladoniaceae</i> | <i>Cladonia</i> | 4 | 4 |
| <i>Candelariaceae</i> | <i>Candelariella</i> | 4 | 4 |
| <i>Parmeliaceae</i> | <i>Parmelina</i> | 2 | 4 |
| | <i>Xantoparmelia</i> | 2 | |
| <i>Acarosporaceae</i> | <i>Acarospora</i> | 3 | 3 |
| <i>Ramalinaceae</i> | <i>Ramalina</i> | 1 | 2 |
| | <i>Toninia</i> | 1 | |
| <i>Rhizocarpaceae</i> | <i>Rhizocarpon</i> | 2 | 2 |
| <i>Verrucariaceae</i> | <i>Verrucaria</i> | 2 | 2 |
| <i>Caliciaceae</i> | <i>Amandinea</i> | 1 | 1 |
| <i>Catillariaceae</i> | <i>Catillaria</i> | 1 | 1 |
| <i>Coccocarpiaceae</i> | <i>Spilonema</i> | 1 | 1 |
| <i>Lecideaceae</i> | <i>Immersaria</i> | 1 | 1 |
| <i>Leprocaulaceae</i> | <i>Halecania</i> | 1 | 1 |
| <i>Tephromelataceae</i> | <i>Tephromela</i> | 1 | 1 |

Исследование проведено при поддержке РНФ (Грант 23-44-00070).

ЛИТЕРАТУРА

- Georgi, I. G. Bemerkungen einem Reise ins Russischen Reich./ Georgi I. G. // St.-Petersburg, 1775. – 240 p.
- Шелль, Ю. К. Материалы для ботанической географии Уфимской и Оренбургской губерний (споровые растения) / Ю. К. Шелль // Труды Общества естествознания при Казанском университете. – 1883. – Т. 12, № 1. – С. 1–93.
- Окснер, А. Н. Материалы для лихенофлоры Урала и прилегающих областей / А. Н. Окснер // Ботанический журнал АН УССР. – 1945. – № 3. – С. 180–186.
- Рябкова, К. А. К изучению лишайников Южного Урала / К. А. Рябкова, М. Г. Нифонтова // Эколого-флористические исследования по споровым растениям Урала : Сб. науч. трудов. – Свердловск : УрО АН СССР, 1990. – С. 34–42.
- Рябкова, К. А. Систематический список лишайников Урала / К. А. Рябкова // Новости систематики низших растений. – 1998. – Т. 32. – С. 81–87.

6. Волкова, А. М. К флоре лишайников высокогорной части хребта Таганай / А. М. Волкова // Записки Свердловского отделения Всесоюзного ботанического общества. – 1966. – № 4. – С. 154–157.
7. Урбанавичене, И. Н. Первые сведения о лишайниках национального парка «Зюраткуль» (Челябинская область) / И. Н. Урбанавичене // Новости систематики низших растений. – 2011. – Т. 45. – С. 223–236.
8. Макрый, Т. В. Предварительные данные о лишайниках «Предуральской степи» (государственный природный заповедник «Оренбургский») / Т. В. Макрый // Известия Иркутского государственного университета. – 2017. – Т. 22. – С. 59–67.
9. Селиванова-Городкова, Е. А. Эпифитные лишайники как дополнительный корм для диких копытных на Южном Урале / Е. А. Селиванова-Городкова // Труды Института биологии УФАН СССР. – 1965. – № 42. – С. 113–120.
10. Фролов, И. В. Эпифитные лишайники Башкирского государственного заповедника / И. В. Фролов // Новости систематики низших растений. – 2007. – Т. 41. – С. 272–280.
11. Горчаковский, П. Л. Высокогорная растительность Яман-Тау – крупнейшей вершины Южного Урала / П. Л. Горчаковский // Ботанический журнал. – 1954. – Т. 39, № 6. – С. 827–842.
12. Пауков, А. Г. Литофильные лишайники на серпентинитах Южного Урала / А. Г. Пауков, А. Ю. Тептина, О. С. Вондракова // Степи Северной Евразии : материалы VII международного симпозиума. – Оренбург, 2015 – С. 627–630.
13. Савельева, Г. Н. Структура и петрология ультраосновного массива Нурали на Южном Урале / Г. Н. Савельева, Е. А. Денисова // Геотектоника. – 1983. – № 2. – С. 42–57.
14. Гатауллин, Р. А. Минеролого-геохимические особенности мантийных ультрамафитов южной части массива Нурали / Р. А. Гатауллин, Д. Е. Савельев // Геологический вестник. – 2021. – № 1. – С. 55–67.
15. Proctor, J. The Ecology of Serpentine Soils / J. Proctor, S. R. J. Woodell // *Advances in Ecological Research*. – 1975. – P. 255–366.
16. Пауков, А. Г. Литофильная лишайнофлора Среднего и Южного Урала / А. Г. Пауков, А. Е. Селиванов, И. В. Фролов // Лихенология в России: актуальные проблемы и перспективы исследований : Программа и труды Второй Международной конференции, посвященной 300-летию Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН и 100-летию Института споровых растений (Санкт-Петербург, 5-8 ноября 2014 г.). – СПб., 2014. – С. 130–136.
17. Урбанавичюс, Г. П. Список лишайнофлоры России / Г. П. Урбанавичюс, М. П. Андреев // СПб. : Наука, 2010. – 190 с.
18. Van den Boom P. P. G. Two new sorediate species of lichens in the Catillariaceae from the Iberian Peninsula / P. P. G. Van den Boom, J. Etayo // *Lichenologist*. – 2001. – Vol. 33. – P. 103–110.

К ЭКОЛОГИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЮ РЕДКИХ И ОХРАНЯЕМЫХ ЛИШАЙНИКОВ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Е. Прохорова¹, Е.Э. Мучник²

¹«Дирекция парков», 248035, г. Калуга, ул. Грабцевское шоссе, 73

²Институт лесоведения Российской академии наук, 143030, Московская обл., г. Одинцово,
с. Успенское, ул. Советская, 21
e-mail: NataProhorova@yandex.ru

TO THE ECOLOGY AND DISTRIBUTION OF RARE AND PROTECTED LICHENS OF THE KALUGA REGION

E.E. Muchnik¹, N.E. Prokhorova²

¹«Parks Directorate», 73 Grabtsevskoe Shosse, Kaluga, 248035 Russia

²Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, 21 Sovetskaya St., v. Uspenskoe,
Odyntsovo, Moscow Region, 143030 Russia
e-mail: NataProhorova@yandex.ru

Охрана редких видов лишайников Калужской области насчитывает менее десятилетия, только в 2015 г. 19 видов лишайников были занесены в региональную Красную книгу [1]. С 2020 г. в рамках работ по изучению разнообразия особо охраняемых природных территорий (ООПТ) осуществляется мониторинг состояния ранее отмеченных популяций «краснокнижных» лишайников, поиск их новых местонахождений и уточнение списка редких видов Калужской области.

Исследования охватили примерно половину административных районов Калужской области и г. Калуга, 19 ООПТ различного уровня, в том числе, части национального парка (НП) «Угра» и государственного заповедника (ГПЗ) «Калужские засеки». Сбор материалов проводили маршрутным методом, камеральная обработка – с применением общепринятых лихенологических методик. Идентифицированные образцы хранятся в фонде ГБУ КО «Дирекция парков» и гербарии МНА, образцы некоторых редких видов дополнили гербарий ЛЕ. Дополнительно предприняты ревизия части лихенологической коллекции А.В. Гудовичевой, хранящейся в гербарном фонде Музея-заповедника «Куликово поле». Результаты частично опубликованы [2].

В результате выявлено 105 местонахождений (из них 85 новые) 12 охраняемых и трех предложенных к охране видов лишайников (в таблице выделены полужирным шрифтом), отмечены их субстратная и экотопическая приуроченность, уточнены или предложены категории охранного статуса для нового издания региональной Красной книги, планируемого в 2025 г. Номенклатура лишайников дана по сводке [3].

Таблица

Находки, эколого-субстратная и биотопическая приуроченность охраняемых и предложенных к охране видов лишайников Калужской области

| Вид лишайника, категория* | Субстраты | Биотопы | Местонахождения**, (число находок) |
|---|---|--------------------------------------|--|
| <i>Acrocordia gemmata</i> (Ach.) A. Massal., 2/2 | Часто: кора осины, дуба, реже – клена | Широколиственный лес, усадебный парк | I (1); V (1); XII (3); XVIII (1) |
| <i>Arthonia helvola</i> (Nyl.) Nyl., 2/1 | Кора ольхи, вяза | Смешанный лес, усадебный парк | I (1); IV (1) |
| <i>Cetrelia olivetorum</i> (Nyl.) W. L. Culb. & C. F. Culb. 1 | Кора дуба (ветви) | Усадебный парк | IV (1) |
| <i>Chaenotheca hispidula</i> (Ach.) Zahlbr. 1/1 | Кора ели | Смешанный лес | II (1) |
| <i>Chaenotheca stemonea</i> (Ach.) Müll. Arg. 1/м | Часто: кора сосны, ели, реже – дуба, березы | Смешанный лес, еловый лес | I (3); II (5); III (1); VIII (1); IX (1); X (2); XI (1); XV (2); XVI (1); XVII (1); вне ООПТ (9) |

| Вид лишайника, категория * | Субстраты | Биотопы | Местонахождения **, (число находок) |
|---|--|--|--|
| <i>Cladonia norvegica</i> Tønsberg & Holien 1/1 | Гниющая древесина ели | Еловый лес | I (1) |
| <i>Cladonia incrassata</i> Flörke 1 | Торфяная почва | Верховое болото | XIII (1) |
| <i>Cladonia stellaris</i> (Opiz) Pouzar & Vězda 1 | Песчаная почва | Сосновый лес (опушка) | VIII (1) |
| <i>Cladonia turgida</i> Hoffm. 2/2 | Песчаная почва | Сосновый лес | II (1); VIII (1); вне ООПТ (5) |
| <i>Imshaugia aleurites</i> (Ach.) S.L.F. Mey. 3/2 | Древесина, кора и ветви сосны | Верховое болото | II (2); вне ООПТ (1) |
| <i>Inoderma byssaceum</i> (Weigel) Gray 2/2 | Часто: кора дуба, вяза, реже – клена, липы | Широколиственный лес, усадебный парк | I (5); II (4); VII (4); XII (1); XV (2); XVII (1); вне ООПТ (5) |
| <i>Melanelixia subargentifera</i> (Nyl.) O. Blanco et al. 2/2 | Кора старовозрастных дубов | Широколиственный лес | I (1); XV (1); вне ООПТ (1) |
| <i>Peltigera malacea</i> (Ach.) Funck 3/3 | Песчаная почва | Сосновый лес, склоны карьера | I (1); II (3); вне ООПТ (4) |
| <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf 3/3 | Кора и ветви сосен, ветви берез (на разной высоте от 1 м до кроны) | Сосновый лес, верховое болото, редко – смешанный лес | I (2); II (3); III (1); VI (1); VIII (1); IX (1); X (1); XIV (1); XVI (1); XVII (1); XIX (1); вне ООПТ (6) |
| <i>Ramalina sinensis</i> Jatta 1 | Кора сухостойной ивы козьей | Смешанный лес (опушка) | II (1) |

Примечание:

* – категории охранного статуса даны для охраняемых видов через косую черту: в действующем издании Красной книги [1] / в планируемом издании; м – список «мониторинга».

** – обозначения ООПТ (согласно [4]): I – ГПЗ «Калужские засеки»; II – НП «Угра»; III – Низинное болото «Шатинский мох»; IV – Парк д. Милотичи; V – Озеро Бездон; VI – Милятинское водохранилище; VII – Засечный лес; VIII – Сосновые леса на дюнах; IX – Цветковский мох; X – Верховое болото Большое Нарышкинское; XI – Болото «Бездонная лужа»; XII – Парк с. Понизовье; XIII – Большое Игнатовское болото; XIV – Малое Игнатовское болото; XV – Памятник природы «Калужско-Алексинский каньон»; XVI – Бор г. Юхнов; XVII – Калужский городской бор; XVIII – Овраг «Можайка»; XIX – Минеральный источник «Резванский».

По итогам обследования можно констатировать, что отмеченное ранее [1] местообитание двух охраняемых видов (*Cladonia borealis* S. Stenroos, *Stereocaulon tomentosum* Fr.) утрачено, песчаный карьер на границе северного участка ГПЗ «Калужские засеки» в настоящее время полностью зарос. Тщательное обследование липовой аллеи парка с. Звизжи (НП «Угра») не выявило отмеченного там ранее [1; данные гербария музея-заповедника «Куликово поле»] *Candelaria concolor* (Dicks.) Stein. Новых местонахождений этих видов в регионе пока не обнаружено. Продолжение исследований в национальном парке «Угра», заповеднике «Калужские засеки» и планируемые обследования в Государственном комплексе «Таруса» еще позволяют надеяться на обнаружение ранее выявленных [1, 5] охраняемых видов: *Cladonia ataucraea* (Floerke) Schaer., *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, *Sclerophora pallida* (Pers.) Y.J. Yao & Spooner, *Biatoridium monasteriense* J. Lahm ex Körb. и *Chaenothecopsis mediarossica* Titov et Gudovicheva. Последние два вида из-за незаметности или полного отсутствия таллома, а также крайне малых размеров плодовых тел рекомендуются к переводу в перечень нуждающихся в особом контроле за их состоянием в области.

Благодарим д.б.н. А.Г. Цурикова (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины), д.б.н. А.Г. Паукова (Уральский Федеральный университет им. Б.Н. Ельцина) и к.б.н. О.А. Катаеву (Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН) за помощь в определении некоторых сложных таксонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Калужской области. Т. 1: Растительный мир / Сост. С. К. Алексеев, Н. В. Воронкина, Д. Е. Гимельбрант и др. – Калуга : Ваш Домъ, 2015. – 536 с.
2. Мучник, Е. Э. О редких и охраняемых видах лишайников Калужской области / Е. Э. Мучник, Н. Е. Прохорова // Вестник Тульского государственного университета. Международная научная конференция «Изучение и сохранение биоразнообразия», посвященная 130-летию со Дня рождения ученого-лесоведа И.П. Пряхина и 135-летию Крапивенской лесной школы. 20–23 сентября 2023 г. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2023. – С. 100–109.
3. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-Forming and Lichenicolous Fungi / M. Westberg, R. Moberg, M. Myrdal [et al.]. – Uppsala University, 2021. – 935 p.
4. Особо охраняемые природные территории регионального и местного значения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pre.admoblkaluga.ru/sub/ecology/OxранаОС/Osobo_охраняение/ (дата обращения: 25.04.2024).
5. Фертиков, В. И. Сосудистые растения, мохообразные, лишайники Государственного природного заказника федерального значения «Государственный комплекс «Таруса» (Материалы к флоре Калужской области) / В. И. Фертиков, А. А. Нотов, А. В. Павлов. – Тверь : Твер. гос. ун-т, 2017. – 240 с.

ЛИШАЙНИКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКАЗНИКА «ПАРАСЬКИНЫ ОЗЕРА» (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Т.Н. Пыстина, Н.А. Семенова

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: t.pystina@ib.komisc.ru*

LICHENS OF THE FEDERAL RESERVE «PARASKINY OZERA» (KOMI REPUBLIC)

T.N. Pystina, N.A. Semenova

*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: t.pystina@ib.komisc.ru*

Заказник «Параськины озера» площадью 17 тыс. га был утвержден постановлением Правительства Российской Федерации № 1301 от 04.08.2021 г. Располагается в 55 км на юго-запад от г. Ухта в бассейне р. Ухта и ее правого притока р. Тобысь. В состав ООПТ входят ландшафты Среднего Тимана и восточного Притиманья. Уникальность заказнику придает наличие на его территории карстовых форм рельефа, сформировавшихся в результате растворения карбонатных горных пород и проявляющихся в виде воронок и логов, порой образующих обширные карстовые поля. Самыми известными объектами являются 20 озер, представляющих из себя заполненные водой карстовые воронки и котловины.

Растительность заказника в основном представлена типичными среднетаежными хвойными и смешанными лесами. Преобладают крупные массивы сосновых лесов лишайникового, лишайниково-зеленомошного и зеленомошного типов. К долинам рек и переувлажненным мезопонижениям приурочены участки зеленомошных и травяных ельников. Лиственные леса имеют вторичное происхождение и представлены березовыми, реже осиновыми древостоями. На водоразделах встречаются относительно крупные болотные массивы верхового и переходного типов, а также небольшие по размерам ключевые болота. Луга и заросли кустарников не занимают больших площадей, располагаются по берегам рек Ухта, Тобысь и их притоков. В северной части резервата по берегам р. Ухта наблюдаются обнажения карбонатных горных пород.

На сегодняшний день в заказнике «Параськины озера» выявлено 257 видов лишайников и ассоциированных с ними грибов (260, включая таксоны рангом ниже). Высоким разнообразием лишайников характеризуются лесные экотопы – здесь найдено 183 вида. Максимальное видовое богатство (127) выявлено в преобладающих на территории резервата сосновых лесах. В сосняках зеленомошной группы типов зафиксирован 81 вид. В данном типе насаждений часто встречается *Bryoria glabra*, известная в таежной зоне Республики Коми лишь из нескольких точек. Вид поселяется преимущественно на ветвях сосны и ели, реже березы и лиственницы. На стволиках можжевельника отмечен редкий лишайник *Biatora vacciniicola*. В сосняках зеленомошных найден всего один охраняемый в республике вид – *Hypogymnia austerodes* [1]. В сосняках лишайниковых установлены местообитания 63 видов, из которых два (*Bryoria fremontii*, *Hypogymnia austerodes*) охраняются в Республике Коми. *Bryoria fremontii* не редка в борах; в подходящих экотопах может встречаться часто, образуя на стволах и ветвях крупных деревьев сосны довольно многочисленные субпопуляции. Среди сосняков наибольший интерес с позиции видового разнообразия и присутствия редких лишайников вызывают сфагновые сообщества, встречающиеся по окрайкам болот, – здесь выявлено 74 вида, в том числе четыре, занесенных в Красную книгу Республики Коми – *Bryoria fremontii*, *Lobaria pulmonaria*, *Chaenothecopsis fennica*, *Microcalicium ahlneri*. Определенный интерес представляет находка на валеже редкого в республике вида *Cladonia norvegica*.

Ельники были обследованы лишь в долине р. Тобысь. В них отмечено 111 видов лишайников, преимущественно типичных для таежных лесов. На древесине вывернутых вверх корней ели впервые в регионе найден эпиксильный вид *Xylographa* cf. *septentrionalis*. Девять видов являются редкими и охраняются на республиканском уровне, четыре из них (*Acolium karelicum*, *Cliostomum leprosum*, *Felipes leucopellaeus*, *Vulpicida juniperinus*) выявлены только в еловых лесах заказника.

В производных лиственных (березовых, осиновых) и смешанных лиственно-хвойных лесах зарегистрировано 102 вида лишайников. К числу интересных находок относится *Bryoria vrangiana*, дважды встреченная на ветвях ели и сосны в смешанных лесах. Охраняемых видов всего два – *Lobaria pulmonaria* и *Peltigera kristinssonii*. В зарослях пойменных ивняков и ольховника (*Duschekia fruticosa*) выявлено 21 и 18 видов соответственно. Три вида (*Lobaria pulmonaria*, *Peltigera collina*, *Ramalina roesleri*) охраняются в Республике Коми.

На болотах и в разреженных древостоях по их окрайкам обнаружено 67 видов лишайников. Особенностью рассматриваемых сообществ можно считать произрастание на сосне и ели обычно встречающихся в северных частях республики лишайников *Usnea lapponica* и *U. substerilis*. Из числа охраняемых лишайников найдено четыре вида (*Bryoria fremontii*, *Chaenothecopsis fennica*, *Lobaria pulmonaria*, *Microcalicium ahlneri*).

Высокое разнообразие лишайников (130 видов) отмечено в растительных сообществах, сформированных на склонах карстовых воронок и логов. В дерновинках мхов на склонах северной экспозиции встречаются арктоальпийские виды. Для некоторых из них (*Cetraria laevigata*, *Cladonia subfurcata*, *Nephroma arcticum*, *Stereocaulon alpinum*, *S. paschale*) здесь проходит южная граница распространения в республике. На замшелых стенках карстовых воронок обнаружены многие виды пельтигер, в том числе и редкие (*Peltigera latiloba*, *P. venosa*). На дне карстовой воронки на коре ели найден новый для Республики Коми вид – *Diarthonis spadicea*. В рассматриваемых биотопах установлены местообитания семи видов, охраняемых в Республике Коми: *Bellicidia incompta*, *Bryoria fremontii*, *Cetraria laevigata*, *Cheiromycina flabelliformis*, *Hypogymnia austerodes*, *Lobaria pulmonaria*, *Ramalina roesleri*.

Скальные обнажения известняков вдоль берегов р. Ухта в лихенологическом отношении изучены слабо – выявлено всего 33 вида, среди которых только на береговых скалах в заказнике встречаются *Cladonia stricta*, *C. pocillum*, *Peltigera extenuata*, *P. rufescens*, *Solorina saccata*. Охраняемый вид один (*Peltigera kristinssonii*).

Всего в заказнике «Параськины озера» было выявлено 16 видов, занесенных в Красную книгу Республики Коми [1]. В их числе три вида (*Bryoria fremontii*, *Lobaria pulmonaria*,

Nephromopsis laureri (в Красной книге Республики Коми как *Tuckneraria laureri*)) охраняются на федеральном уровне [2]. В перечень объектов растительного и животного мира, нуждающихся бионадзоре, вошли еще десять видов: *Chaenotheca hispidula*, *Cladonia parasitica*, *Evernia divaricata*, *Hypogymnia bitteri*, *H. vittata*, *Leptogium cyanescens*, *Lobaria scrobiculata*, *Peltigera venosa*, *Ramalina thrausta*, *Rostania occultata*.

Таким образом, биота лишайников заказника «Параськины озера» характеризуется сравнительно богатым видовым составом. В результате инвентаризации сделаны интересные находки. Выявлены два новых для Республики Коми таксона. Для некоторых видов, относящихся к арктоальпийскому географическому элементу, уточнены южные границы их распространения. Для редких и охраняемых в регионе видов выявлены новые местонахождения.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Коми НЦ УрО РАН, темы №122040600026-9 «Оценка эколого-ценотического, видового и популяционного разнообразия растительного мира ключевых особо охраняемых природных территорий Республики Коми».

ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Республики Коми. – Сыктывкар, 2019. – 768 с.
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23.05.2023 № 320 «Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 21.07.2023 № 74362).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЕЛАНИНОВ ЛИШАЙНИКОВ

А.Е. Рассабина, В.Р. Хабибрахманова, А.Ф. Хайруллина, Ф.В. Минибаева
*Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН,
420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31
e-mail: AERassabina@yandex.ru*

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF LICHEN MELANINS

A.E. Rassabina, V.R. Khabibrakhmanova, A.F. Khairullina, F.V. Minibayeva
*Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC KazSC RAS,
2/31 Lobachevsky St., Kazan, 420111 Russia
e-mail: AERassabina@yandex.ru*

Лишайники представляют собой симбиотические ассоциаты, содержащие мико- и фотобионт [1]. Лишайники распространены от полярных регионов до тропических зон, а их численность насчитывает тысячи видов [2]. Благодаря тесному симбиотическому взаимоотношению в лишайниках накапливается целый ряд вторичных метаболитов, которые способствуют защите от воздействий абиотических стрессовых факторов и обеспечивают их «экстремофильность». Одним из таких вторичных метаболитов является темный пигмент меланин.

Меланины представляют собой высокомолекулярные биополимеры фенольной и индол-хиноидной природы. В настоящее время активно создаются медицинские препараты на основе вторичных метаболитов лишайников, и в связи с высокой востребованностью в натуральных (природных) препаратах интерес к лишайниковым метаболитам только возрастает.

Биологически активные вещества, выделенные из лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. (лобария лёгочная), используются для лечения заболеваний дыхательных путей. Нами показано, что меланин в талломах лишайника *L. pulmonaria* активно накапливается в ответ на интенсивное УФ-облучение и способствует защите лишайника от обезвоживания. Ме-

тодами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии установлено, что меланин локализуется в верхнем коровом слое и частицы меланина представляют меланин-подобную гранулярную структуру с размером 170-260 нм. Проведенные исследования позволили сформировать представления о составе и супрамолекулярной природе меланинов лишайников. С помощью ИК-спектроскопии было идентифицировано наличие в меланинах гидроксильных и карбоксильных функциональных групп, которые вносят вклад в процессы сорбции ионов тяжелых металлов, ксенобиотиков и воды.

Ранее было показано, что меланины из лишайников при экстракции соосаждаются совместно с белками и полисахаридами [3]. Нами была разработана комплексная схема получения меланинов из лишайника *L. pulmonaria* и исследованы их характеристики и антиоксидантная активность. Использование различных осаждающих агентов позволило получить меланины, отличающиеся по содержанию в них сопутствующих соединений и обладающих различными физико-химическими характеристиками. В результате разработанной комплексной схемы помимо меланина, получаемого по стандартной методике [4], дополнительно были выделены два образца меланина и их суммарный выход составил 4.3 % от сухих веществ лишайника, что почти в 1.4 раза больше выхода меланина по стандартной методике. Можно полагать, что отличия в условиях их получения будут определять различия меланинов по химическому составу, структурной организации и биологической активности.

В результате полученные данные позволят выявить потенциальные области применения меланинов, выделенных из организмов-экстремофилов.

Работа выполнена в рамках госзадания КИББ ФИЦ КазНЦ РАН и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-14-00327.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подтероб, А. П. Химический состав лишайников и их медицинское применение / А. П. Подтероб // Химико-фармацевтический журнал. – 2008. – Т. 42. – № 10. – С. 32–38.
2. Бязров, Л. Г. Лишайники–индикаторы радиоактивного загрязнения / Л. Г. Бязров // – М. : Товарищество науч. изд. КМК, 2005. – 476 с.
3. Хабибрахманова, В. Р. Физико-химические характеристики и антиоксидантные свойства меланинов, выделенных из лишайника *Leptogium furfuraceum* (Harm.) / В. Р. Хабибрахманова, А. Е. Рассабина, А. Ф. Хайруллина, Ф. В. Минибаева // Химия растительного сырья. – 2022. – № 4. – С. 5–16.
4. From extraction to advanced analytical methods: The challenges of melanin analysis / I. E. Pralea, R. C. Moldovan, A. M. Petrache et al. // International journal of molecular sciences. – 2019. – Vol. 20. – № 16. – P. 3943–3956.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПЛАТО МАНЬПУПУНЁР

В.В. Резниченко

ФГБУ «Печоро-Ильчский государственный заповедник»,
подразделение – федеральный природный заказник «Параськины озёра»,
169436, Республика Коми, Троицко-Печорский район, пос. Якша, улица Ланиной, д. 8
e-mail: info@pechora-reserve.ru

ASSESSMENT OF THE SHAPE LICHEN COVER ON THE MANPUPUNER PLATEAU

V.V. Reznichenko

Pechoro-Ilych state reserve, subdivision – Federal nature reserve «Paraska's Lakes»,
8 Lanina St., v. Yaksha, Komi Republic, 169436 Russia
e-mail: info@pechora-reserve.ru

Полевые работы по мониторингу антропогенной нагрузки проводились в июле 2022 г. на территории плато Маньпупунёр. Для данной цели было заложено 10 постоянных пробных площадей размером 5×5 м. Внутри каждой пробной площади было заложено 5 учётных площадей размером 25×25 см. Для оценки антропогенной нагрузки измеряли проективное покрытие растений, мхов и лишайников. Особое влияние на распределение лишайников и развитие их талломов оказывают стихийные и антропогенные факторы [1]. Проективное покрытие измеряли с помощью палетки, которая представляет собой пластиковую решётку, разделённую на 100 одинаковых квадратов. Каждый квадрат занимаемой площади принимался за 1 процент (%). Пробные площади были заложены научными сотрудниками Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. По степени нарушенности почвенного покрова пробные площади разделяли на: фоновые, слабо нарушенные, средне нарушенные и сильно нарушенные. Результаты исследований в 2019 и 2022 гг. представлены в таблицах 1 и 2.

Анализ видового состава на постоянных пробных площадях показал следующее: 1) проективное покрытие *Cladonia stellaris* максимальное на фоновой пробной площади, так как этот лишайник очень чувствительный к вытаптыванию и исчезает при увеличении антропогенной нагрузки; 2) проективное покрытие *Carex arctisibirica* максимально на сильно нарушенных пробных площадях, так как данный вид активно участвует в восстановлении нарушенных участков; 3) по мере увеличения антропогенной нагрузки происходит изменение видового состава. На фоновых и слабо нарушенных пробных площадях доминируют лишайники, на средне нарушенных пробных площадях соотношение лишайников и растений составляло 50 : 50, а на сильно нарушенных пробных площадях явными доминантами выступают растения, в частности, *Carex arctisibirica* и *Betula nana*.

Таблица 1

Величины проективного покрытия (2019 г.)

| Проективное покрытие (%) | Фоновые | Слабо наруш. | Средне наруш. | Сильно наруш. |
|-----------------------------|---------|--------------|---------------|---------------|
| Нарушенные участки | - | 5 | 10 | 20 |
| Растения | 35 | 45 | 43 | 45 |
| Лишайники | 80 | 50 | 43 | 15 |
| <i>Betula nana</i> L. | 28 | 27.7 | 22.7 | 13.7 |
| <i>Carex arctisibirica</i> | + | 2 | 3.7 | 17.8 |
| <i>Cladonia arbuscula</i> | 10 | 14.2 | 8 | + |
| <i>Cladonia stellaris</i> | 2 | 4.3 | + | + |
| <i>Cladonia rangiferina</i> | 15 | 4.6 | 3.3 | 0.3 |

Величины проективного покрытия (2022 г.)

| Проективное покрытие (%) | Фоновые | Слабо наруш. | Средне наруш. | Сильно наруш. |
|-----------------------------|---------|--------------|---------------|---------------|
| Нарушенные участки | < 1 | 8.1 | 7.5 | 23.5 |
| Растения | 21 | 39.4 | 41.8 | 36.8 |
| Лишайники | 77.6 | 45.5 | 41.7 | 18.6 |
| <i>Betula nana</i> | 12 | 28.1 | 25.4 | 18.5 |
| <i>Carex arctisibirica</i> | + | 1 | 3.2 | 9.1 |
| <i>Cladonia arbuscula</i> | 5.4 | 15.1 | 8.7 | 4.5 |
| <i>Cladonia stellaris</i> | 3.2 | 0.1 | 0.7 | + |
| <i>Cladonia rangiferina</i> | 2 | 1.7 | 2.7 | 1.7 |

Сравнение результатов измерения величины проективного покрытия в 2019 и 2022 гг. показало, что на фоновой пробной площади проективное покрытие лишайников не изменилось, уменьшилось проективное покрытие растений. На слабо нарушенных пробных площадях незначительно уменьшилось проективное покрытие растений и лишайников, а проективное покрытие нарушенных участков увеличилось на 3 %. На средне нарушенных пробных площадях незначительно уменьшилось проективное покрытие растений и лишайников. На сильно нарушенных пробных площадях незначительно уменьшилось проективное покрытие растений, а проективное покрытие лишайников увеличилось на 3 %. Проективное покрытие *Betula nana* уменьшилось на 16 % только в пределах фоновой пробной площади, в то время как на остальных пробных площадях его величина не изменилась или изменилась незначительно. Проективное покрытие *Carex arctisibirica* практически в два раза уменьшилось на сильно нарушенных пробных площадях, на остальных пробных площадях – практически не изменилось или изменилось незначительно. Проективное покрытие *Cladonia stellaris* значительно уменьшилось только на слабо нарушенных пробных площадях. Проективное покрытие *C. rangiferina* уменьшилось на 13 % на фоновой пробной площади, на слабо нарушенных пробных площадях также отмечали снижение проективного покрытия данного вида. На средне и сильно нарушенных пробных площадях проективное покрытие данного вида изменилось незначительно. Проективное покрытие *C. arbuscula* снизилось на фоновой пробной площади практически в 2 раза, на слабо и средне нарушенных площадях оно практически не изменилось, а на сильно нарушенных пробных площадях увеличилось.

ЛИТЕРАТУРА

Макрый, Т. В. Экология лишайников / Т. В. Макрый // Флора лишайников России: Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников. – М.; СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – С. 239–240.

ХАРАКТЕРИСТИКА И АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА СТЕРОЛ С-5 ДЕСАТУРАЗЫ В ЛИШАЙНИКЕ *PELTIGERA CANINA* В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА

М. Свид, М.В. Кулинченко, А. Онеле, Ю.Н. Валитова, Ф.В. Минибаева

Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН,

420011, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

e-mail: s.moatasem@knc.ru

CHARACTERISTICS AND ANALYSIS OF EXPRESSION OF THE STEROL C-5 DESATURASE GENE IN THE LICHEN *PELTIGERA CANINA* UNDER TEMPERATURE STRESS

M. Swid, M.V. Koulintchenko, A. Onele, J.N. Valitova, F.V. Minibayeva

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, KSC, RAS,

2/31 Lobachevsky St., Kazan, 420011 Russia

e-mail: s.moatasem@knc.ru

Лишайники – это симбиотические организмы, состоящие из гриба (микобионт) и водоросли или цианобактерии (фотобионт). Они широко распространены по всему миру и произрастают в различных средах обитания, включая экстремальные условия, такие как Арктика и пустыня [1]. Температурный стресс является одним из основных факторов, ограничивающих рост и выживание лишайников. Было показано, что температурный стресс влияет на экспрессию генов, связанных с различными физиологическими процессами в лишайниках [2]. Известно, что лишайники обладают достаточно уникальным и разнообразным стеринным составом, отличающимся от такового у грибов и водорослей, что может вносить вклад в их высокую стрессоустойчивость. Несмотря на очевидную важность, биохимические и молекулярные механизмы стрессовой устойчивости лишайников, опосредованные изменениями стеринового профиля, изучены недостаточно полно и не систематизированы [3]. Известно, что эргостерин является преобладающим стеринном клеточных мембран лишайников. Его биосинтез, как и синтез других стеринов, представляет собой сложный многоэтапный процесс, в котором участвует ряд ферментов. Многие из этих ферментов схожи с ферментами, задействованными в синтезе холестерина у животных, однако существуют и специфические ферменты, необходимые исключительно для образования эргостерина [4]. На основе литературных данных и аннотированных последовательностей белков эталонных организмов из баз данных NCBI и JGI нами был проведен биоинформатический поиск генов, участвующих в биосинтезе и метаболизме стеринов у лишайников. Были выявлены гены, кодирующие ферменты мевалонатного пути микобионта, такие как *ERG3* (стерол С5 десатураза), *ERG4* (стерол С-24 редуктаза) и *ERG5* (стерол С3-десатураза, Р450).

Настоящая работа посвящена исследованию фермента стерол с-5 десатуразы (*ERG3*), который играет важную роль в синтезе эргостерина, катализируя десатурацию (удаление атома водорода и введение двойной связи) стероидного скелета в положении С-5. Показано, что активность *ERG3* лишайников может изменяться при действии различных стрессовых факторов. В частности, было обнаружено, что активность *ERG3* в лишайнике *Usnea longissima* снижается при воздействии экстремальных температур (как высоких, так и низких). Снижение активности *ERG3* может привести к нарушению синтеза эргостерина, ограничивая способность лишайника поддерживать целостность клеточных мембран гриба-микобионта [5].

Целью данной работы являлись характеристика и анализ экспрессии гена *ERG3* в лишайнике *Peltigera canina* в условиях экстремального температурного стресса (-20 °С и +40 °С). Первым шагом нашего молекулярно-биологического исследования являлось клонирование гена *ERG3* из микобионта лишайника. Это позволило получить участок ДНК, кодирующий этот фермент.

Далее клонированный ген *ERG3* секвенировали и определяли нуклеотидную последовательность ДНК, что позволило определить аминокислотную последовательность белка

ERG3. Было обнаружено, что ген *ERG3* в *P. canina* имеет длину 1074 п.н. и кодирует белок из 353 аминокислот. Белок ERG3 содержит консервативный домен, характерный для семейства ферментов ERG. Количественную оценку экспрессии гена *ERG3* проводили с использованием метода обратной транскриптазы в режиме реального времени (qRT-PCR). Полученные результаты свидетельствуют о том, что ген *ERG3* в *P. canina* играет важную роль в адаптации к действию экстремальной температуры. Снижение экспрессии гена *ERG3* при температурном стрессе может быть связано с уменьшением потребности в стеринах или с нарушением функции фермента. Результаты данного исследования показали, что экспрессия гена *ERG3* у *P. canina* чувствительна к температурному воздействию. Данное исследование дает новое представление о роли *ERG3* в стрессовом ответе лишайников.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-14-00362.

ЛИТЕРАТУРА

1. Understanding microbial multi-species symbioses / J. Smith, C. Brown, M. Jones // *Frontiers in Microbiology*. – 2016. – Vol. 7. – Art. 180.
2. Yeast lacking the sterol C-5 desaturase Erg3 are tolerant to the anti-inflammatory triterpenoid saponin escin. / E. Johnston, J. Tallis, E. Cunningham-Oakes, T. Moses, S. Moore // *Springer Science and Business Media LLC*. – 2023.
3. Secondary Metabolism in the Lichen Symbiosis. / M. Calcott, D. Ackerley, A. Knight, R. Keyzers, J. Owen // *Chemical Society Reviews*. Royal Society of Chemistry (RSC). – 2018.
4. Stress in lichen symbiosis. / S. Hohmann, K. Kubiak // *Annual Review of Phytopathology*. – 2013. – Vol. 51, N 1. – P. 59–80.
5. Effects of environmental stress on ergosterol synthesis and gene expression of *ERG3* in *Usnea longissima*. / Y. Yuan, Y. Li, Y. Gong, M. Li // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020.

ПРО-/АНТИОКСИДАНТНЫЙ МЕТАБОЛИЗМ КОМПОНЕНТОВ ЛИШАЙНИКОВОГО СИМБИОЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УФ-В РАДИАЦИИ НА *PELTIGERA APHTHOSA*

Е.В. Силина, М.А. Шелякин

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: silina@ib.komisc.ru*

UV-B EFFECT ON PRO-/ANTIOXIDATIVE METABOLISM IN SYMBIONTS OF THE FOLIOSE LICHEN *PELTIGERA APHTHOSA*

E.V. Silina, M.A. Shelyakin

*Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: silina@ib.komisc.ru*

Известно, что в сухом состоянии талломы лишайников длительное время способны выдерживать действие высоких доз УФ-В и даже УФ-С излучения [1]. Однако в гидратированных слоевищах УФ-радиация приводит к развитию окислительного стресса в результате повышенной генерации активных форм кислорода (АФК). Важную роль в поддержании оптимального уровня АФК в клетках всех живых организмов, в том числе и лишайников, играет антиоксидантная система. Ранее мы показали, что процесс акклимации листоватого лишайника *Peltigera aphtosa* к действию УФ-В сопровождался увеличением скорости перекисного окисления липидов (ПОЛ), транзиторными изменениями содержания пероксида во-

дорода (H_2O_2), усилением общей активности супероксиддисмутазы (SOD) и каталазы (CAT) [2]. В данном исследовании мы оценили реакции фикобионта в процессе адаптации к УФ-В радиации на уровне функционирования про-/антиоксидантной системы и сравнили их с уже полученными данными для талломов *P. aphthosa*.

Peltigera aphthosa (L.) Willd. – трехкомпонентный лишайник. Основным фикобионтом является зеленая водоросль рода *Coccomyxa*, вторичным – цианопрокарियोты рода *Nostoc*. Тундрово-таёжный вид Северного полушария, широко распространен в бореальной зоне европейской части России, где зачастую приурочен к затененным и увлажненным местам обитания. Опытный материал отбирали с растительных остатков или мха на поверхности почвы в смешанном сосново-еловом лесу в среднетаежной подзоне Республики Коми. Предварительно адаптированные талломы лишайников подвергали действию УФ-В радиации (2 Вт/м^2) в течение 120 мин на протяжении 10 суток. Образцы фиксировали на 3 и 10 сутки после облучения и спустя 4 суток после прекращения воздействия. Полученная лишайниками суммарная доза УФ-В составляла 43 и 144 кДж соответственно. Талломы контрольного варианта находились в тех же условиях, но без облучения УФ. Клетки водорослей выделяли из слоевищ *P. aphthosa* методом дифференциального центрифугирования в градиенте сахарозы. В работе использовали общепринятые биохимические методы определения содержания продуктов ПОЛ (ТБК-РП), H_2O_2 , активности SOD, CAT, аскорбатпероксидазы (APX). Изоферментный анализ проводили в неденатурирующих условиях в ПААГ. Подробное описание методов исследования приведено в работе [2].

Накопление продуктов липопероксидации и АФК является одним из показателей нарушения про-/антиоксидантного равновесия клеток и стрессированности живых организмов. Судя по содержанию ТБК-РП, в клетках фикобионта максимум активности процессов ПОЛ отмечали на третьи сутки действия УФ-В, когда суммарная доза УФ составляла 43 кДж. В это же время наблюдали повышение уровня H_2O_2 . Это указывает на развитие окислительного стресса в клетках фикобионта. Известно, что H_2O_2 в присутствии ионов металлов с переходной валентностью служит источником гидроксильного радикала (реакция Хабера-Вайса), который приводит к окислительным повреждениям липидов, белков и нуклеиновых кислот. Далее в процессе эксперимента активность ПОЛ постепенно уменьшалась и спустя 4 суток после прекращения воздействия УФ-В снижалась до уровня контроля, тогда как содержание H_2O_2 оставалось на том же уровне до конца эксперимента. В талломах *P. aphthosa* интенсивность процессов липопероксидации увеличивалась по мере увеличения суммарной дозы УФ-В и достигала максимальных значений к концу эксперимента. Содержание H_2O_2 достоверно увеличивалось при дозе УФ-В равной 43 кДж на 22 %. Однако через четыре дня после прекращения воздействия УФ-В содержание H_2O_2 в обработанных слоевищах не отличалось от контроля. Стоит отметить, что уровень H_2O_2 был значительно выше в талломах лишайника по сравнению с клетками фикобионта.

Содержание H_2O_2 контролируется антиоксидантными ферментами. SOD катализирует дисмутацию супероксидного анион-радикала до H_2O_2 , CAT и APX катализируют реакции его нейтрализации до воды и O_2 . Динамика изменения активности SOD, APX, CAT в клетках фикобионта совпадала с изменениями прооксидантов. Максимум их активности отмечали на третьи сутки действия УФ. Спустя 4 суток после прекращения воздействия УФ-В активность SOD и APX снижались до контрольных значений, а активность CAT сохранялась, что может быть связано с повышенным содержанием H_2O_2 . Мы не наблюдали существенных изменений активности SOD и CAT у талломов в течение 10 дней воздействия УФ-В. Однако увеличение их активности было отмечено через четыре дня после прекращения облучения, что способствовало снижению уровня H_2O_2 в талломах.

Анализ белковых профилей выявил разное количество изоформ SOD в изолированном фикобионте и талломах *P. aphthosa*. В клетках фикобионта идентифицировано три изоформы SOD и две CAT. Тогда как в талломах *P. aphthosa* количество изоформ SOD увеличивалось от трех до шести с ростом дозы УФ-В. Вторая изоформа CAT появлялась только после окончания УФ-облучения. Найденные изоформы SOD относятся к Mn- и Fe-содержащим формам.

Очевидно, что разное количество изоформ антиоксидантных ферментов участвуют в регуляции про-/антиоксидантного состояния талломов *P. aphthosa* и его фиктбионта во время действия и последействия УФ-В.

Таким образом, мы изучили реакцию фиктбионта лишайника *Peltigera aphthosa* на действие УФ-В-излучения. Установлено, что уровень прооксидантов повышался на третьи сутки действия УФ, что свидетельствовало о развитии окислительного стресса. Этому соответствовало повышение активности антиоксидантных ферментов. Процесс акклимации талломов *P. aphthosa* сопровождался постепенным повышением про-/антиоксидантного метаболизма с максимумом активности после прекращения воздействия УФ-В. Полученные данные свидетельствуют об индивидуальной реакции про-/антиоксидантного метаболизма компонентов лишайникового симбиоза на действие УФ-В радиации, что позволяет талломам *P. aphthosa* успешно адаптироваться к действию стресс-факторов.

Работа выполнена по теме НИР № 122040600021-4 за счет средств федерального бюджета.

ЛИТЕРАТУРА

1. UV-C tolerance of symbiotic *Trebouxia* sp. in the space-tested lichen species *Rhizocarpon geographicum* and *Circinaria gyrosa*: role of the hydration state and cortex/screening substances / F. J. Sánchez, J. Meeßen, M. del Carmen Ruiz, G. Leopoldo, S. Ott, C. Vilchez et al. // *International Journal of Astrobiology*. – 2014. – Vol. 13, N 1. – P. 1–18.

2. UV-B induced changes in respiration and antioxidant enzyme activity in the foliose lichen *Peltigera aphthosa* (L.) Willd / M. Shelyakin, R. Malyshev, E. Silina, I. Zakhochiy, T. Golovko // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2022. – Vol. 44, N 11. – P. 116.

РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В КРАСНУЮ КНИГУ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Е.А. Синичкин, П.Н. Омельченко, Г.А. Богданов

*Чебоксарский филиал Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН,
428027, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, д.31;*

*МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 14 с углубленным изучением предметов естественно-математического цикла города Новочебоксарска Чувашской Республики»,
429959, г. Новочебоксарск, ул. Семенова, д. 25*

e-mail: sea_prisur@mail.ru

RARE AND ENDANGERED SPECIES OF LICHENS INCLUDED IN THE RED BOOK OF THE CHUVASH REPUBLIC

E.A. Sinichkin, P.N. Omelchenko, G.A. Bogdanov

Cheboksary Branch of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, Cheboksary, 31 I. Yakovlev Ave., 428027 Russia;

MBEI «Secondary school with in-depth study of subjects of the natural and mathematical cycle of the city Novocheboksarsk of the Chuvash Republic», 25 Semenova St., Novocheboksarsk, 429959 Russia

e-mail: sea_prisur@mail.ru

В 2019 г. вышло новое издание Красной книги Чувашской Республики, посвященное растениям и грибам. В отличие от первого издания 2001 г., в книгу включены разделы Мохообразные и Лишайники. На протяжении последних 14 лет нами проводятся исследования по изучению видового состава лишенофлоры и выявлению редких видов лишайников на территории Чувашской Республики [1-4]. По результатам исследований в новое издание Красной книги Чувашской Республики включено 30 редких лишайников, 14 видов – в перечень под-

лежащих особому вниманию и нуждающихся в постоянном контроле в природной среде (табл. 1) [5].

Таблица 1

Распределение редких видов лишайников по категориям

| № | Виды | Доля, % | Статус | Количество местонахождений |
|----|---|---------|--|----------------------------|
| 1 | <i>Cladonia amaurocraea</i> (Flörke) Schaer. | 6.7 | Категория 0 – по-видимому, исчезнувшие виды | 1* |
| 2 | <i>Parmelina quercina</i> (Willd.) Hale | | | 1* |
| 3 | <i>Icmadophila ericetorum</i> (L.) Zahlbr. | 3.3 | Категория I – виды, находящиеся под угрозой исчезновения | 1* |
| 4 | <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. | 6.7 | Категория II – уязвимые виды | 7 |
| 5 | <i>Cetraria ericetorum</i> Opiz | | | 2 |
| 6 | <i>Arthonia cinereopruinosa</i> Schaer. | 60.0 | Категория III – редкие виды | 1 |
| 7 | <i>Bryoria nadvornikiana</i> (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw. | | | 3 |
| 8 | <i>Cetrelia olivetorum</i> (Nyl.) W. Culb. et C. Culb. | | | 5 |
| 9 | <i>Cresponea chloroconia</i> (Tuck.) Egea et Torrente | | | 3 |
| 10 | <i>Evernia divaricata</i> (L.) Ach. | | | 1 |
| 11 | <i>Heterodermia speciosa</i> (Wulfen in Jacq.) Trevis. | | | 2 |
| 12 | <i>Leptogium cyanescens</i> (Rabenh.) Körb. | | | 3 |
| 13 | <i>Leptogium saturninum</i> (Dicks.) Nyl. | | | 1 |
| 14 | <i>Nephroma parile</i> (Ach.) Ach. | | | 1 |
| 15 | <i>Ramalina obtusata</i> (Arnold) Bitter. | | | 1 |
| 16 | <i>Ramalina sinensis</i> Jatta | | | 1 |
| 17 | <i>Ramalina thrausta</i> (Ach.) Nyl. | | | 2 |
| 18 | <i>Scytinium subtile</i> (Schr.) Otálora, P.M. Jørg. et Wedin | | | 1 |
| 19 | <i>Scytinium teretiusculum</i> (Wallr.) Otálora, P. M. Jørg. et Wedin | | | 1 |
| 20 | <i>Usnea dasopoga</i> (Ach) Nyl. | 2 | | |
| 21 | <i>Usnea lapponica</i> Vain. | 1 | | |
| 22 | <i>Usnea subfloridana</i> Stirt. | 2 | | |
| 23 | <i>Usnea florida</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg. | 1 | | |
| 24 | <i>Cladonia bellidiflora</i> (Ach.) Schaer. | 23.3 | Категория IV – виды с неопределенным статусом | 1* |
| 25 | <i>Cladonia caespiticia</i> (Pers.) Flörke | | | 1* |
| 26 | <i>Bryoria fuscescens</i> (Gyelnik) Brodo et D. Hawksw. | | | 2 |
| 27 | <i>Flavopunctelia soledica</i> (Nyl.) Hale | | | 1* |
| 28 | <i>Hypotrachyna revoluta</i> (Flörke) Hale | | | 1* |
| 29 | <i>Pleurosticta acetabulum</i> (Neck.) Elix et Lumbsch | | | 1* |
| 30 | <i>Ramalina roesleri</i> (Hochst. ex Schaer.) Hue. | 1* | | |

Примечание: * – известно по литературным данным.

В таблице 2 представлен список видов лишайников, нуждающихся в постоянном контроле в природной среде. Большинство редких и исчезающих видов лишайников, включенных в Красную книгу Чувашской Республики встречаются в Заволжье и в Чувашском Присурье, где сохранились старовозрастные малонарушенные леса.

Лишайники, нуждающиеся в постоянном контроле в природной среде

| № | Вид | Количество местонахождений |
|----|---|----------------------------|
| 1 | <i>Agonimia allobata</i> (Stizenb.) P. James | 1 |
| 2 | <i>Agonimia flabelliformis</i> Halda, Czarnota et Guzow Krzemińska | 1 |
| 3 | <i>Bryoria simplicior</i> (Vain.) Brodo et D. Hawksw. | 1* |
| 4 | <i>Bryoria trichodes</i> (Michx.) Brodo et D. Hawksw. | 2 |
| 5 | <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. | 3 |
| 6 | <i>Cladonia stellaris</i> (Opiz) Pouzar et Vězda | 4 |
| 7 | <i>Flavoparmelia soredians</i> (Nyl.) Hale | 1* |
| 8 | <i>Heterodermia japonica</i> (M. Satô) Swinscow et Krog | 1 |
| 9 | <i>Inoderma byssaceum</i> (Weigel) Gray. | 3 |
| 10 | <i>Phaeographis dendritica</i> (Ach.) Müll. Arg. | 1* |
| 11 | <i>Platismatia glauca</i> (L.) W. Culb. et C. Culb. | 2 |
| 12 | <i>Scytinium tenuissimum</i> (Hoffm.) Otálora, P.M. Jørg. et Wedin | 2 |
| 13 | <i>Usnea diplotypus</i> Vain. | 1* |

Примечание: * – известно по литературным данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синичкин, Е. А. Редкие исчезающие виды лишайников, рекомендуемые в Красную книгу Чувашской Республики / Е. А. Синичкин // Бюллетень Главного ботанического сада. – М., 2020. – № 4. – С. 34–44.
2. Синичкин, Е. А. Экология и распространение редких видов лишайников Чувашского Присурья / Е. А. Синичкин, Г. А. Богданов, А. В. Димитриев // Самарский научный вестник. – 2020. – Т. 9, № 1 (30). – С. 92–100.
3. Синичкин, Е. А. О новых местах произрастания редких и исчезающих видов лишайников Заволжья Чувашской Республики / Е. А. Синичкин // Самарский научный вестник. – 2021. – Т. 10, № 4. – С. 105–109.
4. Синичкин, Е. А. Редкие виды лишайников Чувашской Республики, нуждающиеся в постоянном контроле в природной среде / Е. А. Синичкин // Самарский научный вестник. – 2022. – Т. 11, № 3. – С. 119–125.
5. Красная книга Чувашской Республики. Т. 1, ч. 1. Редкие виды растений и грибов. Изд. второе, перераб. и доп. / науч. ред. М. М. Гафурова, М. С. Игнатов, Т. Ю. Толпышева, Т. Ю. Светашева; под общ. ред. М. М. Гафуровой. – М. : Изд-во «Буки Веди», 2020. – 332 с.

ВЫДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ ИЗ ЛИШАЙНИКА HYPOGYMNA PHYSODES

А.А. Слобода¹, О.С. Бровко¹, Д.В. Жильцов¹, Т.А. Бойцова¹, М.А. Пустынная¹,
А.Д. Ивахнов^{1,2}

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени Н.П. Лаверова УрО РАН, 163020, г. Архангельск, просп. Никольский, д.20

²Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д.17
e-mail: sloboda.iepn@yandex.ru

ISOLATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF PHENOLIC NATURE FROM THE LICHEN HYPOGYMNA PHYSODES

A.A. Sloboda¹, O.S. Brovko¹, D.V. Zhiltsov¹, T.A. Boitsova¹, M.A. Pustynnaya¹,
A. D. Ivakhnov^{1,2}

¹Federal Center for Integrated Arctic Research named after the RAS Academician N.P. Laverov
of the RAS Ural branch, 20 Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020 Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
17 Naberezhnaya Severnoy Dviny St., Arkhangelsk, 163002 Russia
e-mail: sloboda.iepn@yandex.ru

В последние годы во всем мире наблюдается устойчивый интерес к продуктам, получаемым из возобновляемого сырья, как альтернативе продукции промышленного органического синтеза. Он обусловлен рядом причин, одной из которых является невозможность синтеза многих сложных по составу природных соединений, содержащихся в биомассе. Ценными компонентами различных видов растений в первую очередь являются вещества фенольной природы, которые представляют собой особую группу вторичных метаболитов. Перспективным источником веществ фенольной природы, может служить эпифитный лишайник *Hypogymnia physodes*, который широко распространен на территории России и может рассматриваться как важный недревесный лесной ресурс.

По данным [1] в лишайнике *H. physodes* содержатся следующие лишайниковые кислоты: атранорин (АТ), хлоратранорин, физодовая, физодаловая, 3-гидроксифизодовая, 2-О-метилфизодовая и протоцетраровая кислоты. Согласно современным исследованиям одним из основных вторичных метаболитов в талломе этого лишайника является АТ [2, 3]. Присутствие АТ в разных видах лишайников придает особую привлекательность этому соединению, обладающему широким спектром биологической активности [3, 4].

Помимо лишайниковых кислот, фенольные соединения *H. physodes*, как и любого представителя растительного мира, представлены низкомолекулярными фенолами (НФ) и флавоноидами (ФВ). Эти соединения, благодаря особенностям своего строения, обуславливают антиоксидантную активность растительных экстрактов, оказывают на организм человека противовоспалительное, антигистаминное и противораковое действие, положительно влияют на функцию сердечно-сосудистой системы. Таким образом, биологически активные вещества фенольной природы, содержащиеся в талломе *H. physodes*, перспективны для применения в биомедицине и фармакологии.

Цель данной работы – сравнительный анализ эффективности применения различных методов экстракции для извлечения соединений фенольной природы из *H. physodes*.

Экстракцию веществ фенольной природы из *H. physodes* проводили следующими методами:

- в аппарате Сокслета (использовали ацетон, 96 %-ный этанол, хлороформ);
- мацерация этанолом концентрацией 30, 40, 70 и 96 % при продолжительности экстракции 30, 60 и 120 минут, модуль экстракции 1:10;

– экстракция 96 %-ным этанолом под воздействием СВЧ-поля при удельной мощности поля 350 Вт/ч, модуле экстракции 1:15 и продолжительности обработки от 5 до 20 мин;
– сверхкритическая флюидная экстракция (СКФЭ) диоксидом углерода с добавлением в качестве соразтворителя этанола на установке SFE 5000 (Waters, США) при давлении до 400 атм и продолжительности до 180 мин.

Содержание сухих веществ (СВ), НФ, ФВ и АТ, а также определение антирадикальной активности (АРА) в экстрактах определяли по стандартным методикам, указанные в [5].

В ходе проделанной работы показано, что при экстракции в аппарате Сокслета наибольшей экстрагирующей способностью в ряду используемых нами растворителей по отношению к веществам фенольной природы обладают этанол и ацетон: они извлекают из таллома *H. physodes* сумму НФ, ФВ и АТ до 66, 52 и 39 % от СВ, соответственно.

При мацерации наименьшая степень извлечения НФ, ФВ и АТ наблюдалась при использовании в качестве экстрагента 30 % этанола. При увеличении концентрации этанола до 96 % общий выход суммы НФ, ФВ и АТ достигал 27.2 % от СВ. Наибольший выход НФ и АТ при мацерации с 96 % этанолом наблюдался при продолжительности процесса 60 мин., тогда как для ФВ отмечали трехкратное возрастание выхода при увеличении продолжительности экстракции до 120 мин.

Выход веществ фенольной природы при СВЧ- и СКФ-экстракциях *H. physodes* изменялся незначительно в сравнении с мацерацией и экстракцией в аппарате Сокслета. Отметим, что при СКФ-экстракции полученный экстракт содержал более 90.8 % соединений фенольной природы от СВ, что позволяет получать в дальнейшем высокообогащенные препараты природных антиоксидантов.

Исчерпывающая экстракция в аппарате Сокслета органическими растворителями позволяет получить экстракты с высокими значениями АРА (300...335 мкмоль тролокса-экв/г) за счет высокого содержания в них ФС. При СКФЭ, мацерации и СВЧ-экстракции получены экстракты, величина АРА для которых в 3 раза меньше: 107...121 мкмоль тролокса-экв/г, однако продолжительность экстракции при реализации этих методов существенно ниже (в 3...18 раз). Таким образом, величина АРА экстрактов в значительной степени определяется содержанием в них веществ фенольной природы.

*Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства экономического развития, промышленности и науки Архангельской области (проект № 123050500035-0 «Разработка эффективных способов извлечения биологически активных веществ фенольной природы из лишайника *Hypogymnia physodes*») с использованием оборудования ЦКП Арктика (САФУ) и ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА УрО РАН).*

ЛИТЕРАТУРА

1. Molnar, K. Depsides and depsidones in populations of the lichen *Hypogymnia physodes* and its genetic diversity / K. Molnar, E. Farkas // *Annales Botanici Fennici*. – 2011. – Vol. 48. – P. 473–482.
2. Храменкова, О. М. Лишайники *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri*, *Cladonia arbuscula* и *Xanthoria parietina* как источники веществ с антибактериальной активностью / О. М. Храменкова // Бюллетень Брянского отделения РБО. – 2017. – № 1. – С. 50–58.
3. Studzinska-Sroka, E. Atranorin – an interesting lichen secondary metabolite / E. Studzinska-Sroka, A. Galanty, W. Bylka // *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*. – 2017. – Vol. 17. – P. 1633–1645.
4. Pavlovic, V. Effect of four lichen acids isolated from *Hypogymnia physodes* on viability of rat thymocytes / V. Pavlovic // *Food Chem. Toxicol.* – 2013. – Vol. 51. – P. 160–164.
5. Бровко, О.С. Выделение биологически активных веществ фенольной природы из лишайника *Hypogymnia physodes* / О. С., Бровко, А. А. Слобода, Д. В. Жильцов, Т. А. Бойцова, М. А. Пустынная, А. Д. Ивахнов // *Химия растительного сырья*. – 2023. – № 4. – С. 155–164.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛИШАЙНИКОВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ ЯМАЛЬСКОГО СЕВЕРА

А.Н. Тихановский

*Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии,
629002, г. Салехард, ул. Патрикеева, д. 10А
e-mail: severagro@yandex.ru*

RECOVERY OF LICHENS AFTER FIRES IN THE CONDITIONS OF YAMAL NORTH

A.N. Tikhanovsky

*All-Russian Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology,
10A Patrikeeva St., Salekhard, 629002 Russia
e-mail: severagro@yandex.ru*

Промышленное освоение в Ямало-Ненецком АО неизбежно связано с возникновением зон техногенного (антропогенного) воздействия на природно-территориальные комплексы и экосистемы, включая и пастбищную экосистему домашнего северного оленя. Олени пастбища, попадающие под влияние техногенной зоны, выбывают из хозяйственного оборота или значительно ухудшают свои природные качества.

Одним из техногенных факторов, влияющих на природную среду, в том числе и на олени пастбища, являются пожары. Возникновение пожаров чаще всего происходит по вине человека, поэтому их следует отнести к ряду антропогенных факторов, особенно в зонах промышленного освоения территорий. Пожары – это один из основных факторов, существенно меняющих естественную динамику развития растительного покрова и почв на обширных территориях.

Специфика негативного воздействия пожаров (пирогенного фактора), особенно при возникновении низовых пожаров, заключается в том, что в 50-70 % случаев на площади нескольких фитоценозов одновременно выгорает не только растительный покров, но и почти вся органика почв, что приводит к полному нарушению среды произрастания и развития кормовых растений северного оленя. Особенно страдают пастбищные фитоценозы, в напочвенном покрове которых развиты лишайники, являющиеся основным кормом оленей в снежный период. Восстановление лишайникового покрова сгоревших фитоценозов происходит лишь в 60-65 % случаев, процесс этот весьма длителен и занимает 40-45 лет (табл.). Чаще всего (в 50-55 % случаев) на месте сгоревших фитоценозов отрастают (развиваются) вторичные растительные сообщества, как правило, с кустарниковым, кустарничково-травяно-моховым и травяно-моховым покровом.

Состояние лишайникового покрова до гари (эталон): покрытие – 45 % площади леса, высота – 4.5 см, густота лишайниковой куртины – 90 %. Соотношение видов кормовых лишайников: кладонии – 70 %, цетрарии – 20 %, прочие лишайники и мхи – 10 %. Валовой запас фитомассы лишайников на 1 га покрова – 72 ц/га в воздушно-сухом состоянии.

Ниже приведено описание начальной фазы возобновления верхнего слоя лишайникового покрова на листовенничной лесной золе ассоциации багульник-лишайники после пожаров в лесотундре Западной Сибири. Эта фаза шиловидных и чашевидных лишайников длится не менее сорока лет. Типичны для него пирофитные лишайники *Cladonia deformis*, *C. gracilis*, *C. coccifera*, *C. fimbriata*, *C. botrytes*, *C. chlophaea*, *Peltigera didactyla*. Кустистые лишайники *Cetraria islandica*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina* также возобновляются. После прошедшего пожара начинается восстановление с возобновления пирофитных лишайников, стадии бокальчатых и шиловидных лишайников. После пожара на листовенничной гари четырех лет, на песчаных почвах в бассейне р. Полуи, правого притока р. Оби, в окрестностях п. Зеленый Яр сохранились старые деревья *Larix sibirica* Ledeb., незначительно *Betula tortuosa* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., редко *Populus tremula* L. Подрост деревьев сгорел за редким исключением. Травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый покров нарушен почти полностью.

Сохранились отдельные дернины негоревшего растительного покрова с участием *Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum* L., *V. vitis-idaea* L., *Eguisetum silvaticum* L., *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *Cetraria islandica*, мха рода *Dicranum*. В первые годы возобновляются *Betula tortuosa* порослью и семенным путем, незначительно *Larix sibirica* семенами. Отрастают *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum* и *V. vitis-idaea*. Первой единично на гари четырех лет отмечен листоватый лишайник *Peltigera didactyla*. Незначительно рассеяны мхи – *Polytrichum juniperinum* Hedw., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb. На гари сухо. Возобновляется *Larix sibirica*, *Betula tortuosa*, *Picea obovata*. Возобновляются кустарнички и травы – *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum* и *V. vitis-idaea*, *Carex globularis* L., *Eguisetum silvaticum*, нитрофильные растения – *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. и *Calamagrostis purpurea* Trin.

Таблица

Динамика восстановления лишайникового покрова после пожара в лиственничном кустарничково-лишайниковом редкостойном лесу в северотаежной подзоне

| Основные этапы отрастания лишайников по времени, годы | Характеристика восстановления лишайникового покрова | Покрытие лишайников от первоначального (эталона), % | Высота лишайников, см | Густота лишайниковой куртины, % | Запас фитомассы лишайников при 100 % покрытии, ц/га |
|---|---|---|-----------------------|---------------------------------|---|
| 1-15 | Рассеивание лишайников по гари (занос кусочков лишайников, спор и т.д.). Прикрепление к субстрату. Начало образования и рост микрокуртин лишайников. | не более 1 | 0.1-1.5 | 30-40 | 0.1-1.0 |
| 16-25 | Рассеивание лишайников. Разрастание одновидовых (реже двух-трех видовых) лишайниковых куртин. Рассеивание лишайников по оставшимся участкам. Высота лишайников в куртинах: развивающихся до 10 лет – 0.5-1.5; развивающихся 10-20 лет – 2.0-3.5; развивающихся 21-25 лет – 3.0-4.0. Соотношение молодых, средневозрастных и зрелых куртин (в %) – 20 : 30 : 50. | 30-40 | 0.3-2.5 | 60-70 | 1.5-4.5 |
| 26-35 | Разрастание одно-двух, реже трехвидовых куртин. Срастание отдельных куртин в пятна лишайников. Образование многовидового лишайникового покрова. Достижение максимального покрытия лишайников при восстановлении после пожара. Недобор по покрытию от первоначального 25-30 %. | 60-70 | 0.3-3.5 | 80 | 15.0-25.0 |
| 36-45 | Делихенизированная площадь (с деградированным лишайниковым покровом) занята мхами, кустарничками, травами. Высота лишайников в молодых куртинах (10-15 лет развития) – 1.5-2.5 см; в средневозрастных (16-30 лет) – 3.0-4.0 см; в зрелых куртинах, развивающихся более 30 лет – 3.5-5.0 см. Соотношение молодых, средневозрастных и зрелых куртин (в %) – 30 : 30 : 40. | 75-80 | 0.4-4.3 | 80-90 | 40.0-57.0 (50) |

В возрасте семи лет проективное покрытие лишайником *Peltigera didactyla* составляет менее 1 %. Она растет в ковриках *Polytrichum juniperinum* и *Ceratodon purpureus*, где задерживается влага. На гари десяти лет условия становятся более благоприятными для произрастания лишайников. Разреженный ярус *Betula tortuosa* высотой 2-3 м, диаметром 1-2 см, ярус *Betula nana* L., *Salix dasyclados* Wimm., травяно-кустарничковый с преобладанием *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum* создают некоторое затенение почвы, задерживается влага. Мхи на гари представлены *Polytrichum juniperinum*, *P. hyperboreum* R. Br., *P. piliferum* Hedw., *P. com-*

mune Hedw., *Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb., *P. nutans*, *Ceratodon purpureus*. Политриховые мхи буреют и отмирают, создают органическое вещество почвы. На месте отмерших мхов возобновляются пирофитные лишайники – *Peltigera didactyla*, *Cladonia gracilis*, *C. fimbriata*, *C. chlorophaea*, а также кустистые лишайники – *Cladonia arbuscula*, *Cetraria islandica*, их покрытие составляет около 1 %. Рассеяны первичные талломы лишайников.

На пятнадцатилетней гари видовой состав лишайников – *Cladonia fimbriata*, *C. botrytes*, *C. coccifera*, *C. crispata* (Ach.) Flot., *Peltigera didactyla*. Они селятся на менее выгоревших местах. Также рассеяны первичные талломы лишайников. Возобновляются кустистые лишайники – *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*. Для гари характерна пятнистость растительного покрова. Куртины политриховых мхов перемежаются с черными пятнами более выгоревшей почвы. Возобновление шиловидных и бокальчатых лишайников. *Ledum palustre* образует разреженные куртины высотой 0.3-0.5 м. *Vaccinium uliginosum* также образует рассеянные куртины высотой 0.2-0.3 м. Рассеяны *V. vitis-idaea* с редкими ягодами, *Carex globularis*, *Eguisetum silvaticum*.

В районе г. Салехарда, на надпойменной террасе р. Полуи, правого притока р. Оби, гари двадцати восьми лет, на холмах и гривах, суглинистых почвах, пирофитные лишайники также всюду рассеяны – *Cladonia deformis*, *C. coccifera*, *C. gracilis*, *C. fimbriata*, а также первичные талломы лишайников. Кустистые лишайники *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *Cladonia uncialis* (L.) Wigg. образуют мелкие куртинки. Политриховые мхи отмирают. *Ledum palustre* местами образует куртины. Всюду рассеяна *Vaccinium vitis-idaea*. Возобновляется *Empetrum nigrum* L. Рассеяна *Carex globularis*.

Старая гарь сорока лет расположена на надпойменной террасе р. Оби в районе п. Кутюпюган на суглинистых почвах. Разрежен полог молодых деревьев, состоящий из *Larix sibirica* высотой 5-6 м, диаметром 5-8 см, *Betula tortuosa* высотой 3.5-4.5 м, диаметром 3-4 см. Сомкнутость крон 0.2-0.3. На открытых местах всюду рассеяны пирофитные лишайники *Cladonia deformis*, *C. gracilis*, *C. coccifera*, *C. fimbriata*. *Cladonia arbuscula* под кронами деревьев, кустарников *Salix glauca* L., *S. lanata* L. образует небольшие куртины, покрытие ее составляет 20 %, высота 3.5-5 см, она начинает преобладать. В лишайниковом покрове восстанавливаются также *C. rangiferina*, *C. stellaris*, *C. uncialis*. Рассеяны *Cladonia crispata*, *C. macrophulla* (Schaer.) Stenh., *Stereocaulon paschale* (L.) Hoffm., *Cetraria nivalis* (L.) Ach., *C. islandica*, *Nephroma arcticum* (L.) Torss. Мхи приурочены также к деревьям, кустарникам. Восстанавливаются лесные мхи – *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Dicranum fuscescens* Turn. Политриховые мхи *Polytrichum juniperinum*, *P. strictum* Sm., *P. commune* рассеяны в растительном покрове. Незначительно встречается *Pohlia nutans*, *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr. В травяно-кустарничковом покрове преобладают *Ledum palustre* и *Vaccinium uliginosum*. Рассеяны *V. vitis-idaea*, *V. myrtillus* L., *Empetrum nigrum*, *Arctostaphylos alpina* (L.) Niedenzu., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Lycopodium complanatum* L., *Carex globularis*, *Eguisetum silvaticum*, *Rubus chamaemorus* L., *Pedicularis labradorica* Wirsing [1].

Таким образом, после пожаров на лесных лесотундровых лиственничных гарях багульниково-лишайниковой ассоциации в Западной Сибири, стадия шиловидных и бокальчатых лишайников продолжается не менее сорока лет. На этой стадии пирофитные лишайники, такие как *Cladonia deformis*, *C. fimbriata*, *C. gracilis*, *C. chlorophaea* преобладают. Возобновляются также кустистые лишайники *C. arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stellaris*, *C. uncialis*. *Cladonia arbuscula* начинает преобладать в лишайниковом покрове. В моховом покрове восстанавливаются лесные мхи *Pleurozium schreberi* и *Dicranum fuscescens*. Политриховые мхи *Polytrichum juniperinum*, *P. strictum*, *P. commune* незначительно рассеяны в растительном покрове, их покрытие составляет 15 %. Восстанавливается травяно-кустарничковый ярус. В нем незначительно рассеяна пирофитная *Arctostaphylos uva-ursi*. Молодые деревья *Larix sibirica* и *Betula tortuosa* образуют разреженный полог.

ЛИТЕРАТУРА

Замараева, Т. А. Возобновление шиловидных и бокальчатых лишайников после пожаров в лиственных лесах лесотундры Западной Сибири / Т. А. Замараева // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – № 6. – С. 104–108.

ОХРАНЯЕМЫЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ ИЗ НОВОГО ПЕРЕЧНЯ КРАСНОЙ КНИГИ РОССИИ В ЗАПОВЕДНИКЕ «УТРИШ»

И.Н. Урбанавичене¹, Г.П. Урбанавичюс²

¹Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН,
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 2, e-mail: urbanavichene@gmail.com

²Уральский федеральный университет, 620000, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51

THE PROTECTED LICHEN SPECIES FROM THE NEW LIST OF THE RED BOOK OF RUSSIA IN UTRISH NATURE RESERVE

I.N. Urbanavichene¹, G.P. Urbanavichus²

¹Komarov Botanical Institute RAS, 2 Prof. Popov St., St. Petersburg, 197376 Russia
e-mail: urbanavichene@gmail.com

²Ural Federal University, 51 Lenin Ave., Ekaterinburg, 620000 Russia

Государственный природный заповедник «Утриш», созданный в 2010 г. с целью сохранения и восстановления уникальных субсредиземноморских экосистем Северо-Западного Кавказа, расположен на п-ове Абрау в Краснодарском крае и занимает около 100 км². Современные условия способствуют формированию здесь реликтовых древнесредиземноморских компонентов флоры и растительности неогенового возраста, представленных комплексами фисташково-можжевеловых и пушистодубовых лесов и редколесий, кустарниковых зарослей, петрофитно-разнотравных сообществ [1].

В ходе исследований видового состава лишайнофлоры заповедника «Утриш» в 2014–2023 гг. были выявлены местонахождения 5 видов лишайников, включенных в новый «Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную Книгу Российской Федерации» [2]. Сведения о числе находок, их локализации и основных форофитах или субстратах, заселяемых этими видами, представлены в таблице.

Лобария легочная – *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. В заповеднике вид найден в 38 кварталах с общим числом местонахождений 116. Обитает *L. pulmonaria* почти повсеместно выше 300 м н.у.м. Чаще всего лобария отмечалась на стволах старых деревьев липы и дуба. Вид практически не встречается в поясе ксерофильных и гемиксерофильных субсредиземноморских формаций, предпочитая достаточно влажные, умеренно затененные места обитания в старовозрастных, малонарушенных лесах в поясе мезофильных широколиственных лесов. В настоящее время популяция в заповеднике «Утриш» не испытывает каких-либо угроз.

Рикасолия широчайшая – *Ricasolia amplissima* (Scop.) De Not. На территории заповедника вид встречается значительно реже, чем *L. pulmonaria* – известно всего 11 местонахождений в 9 кварталах. Как и *L. pulmonaria*, вид приурочен к поясу мезофильных широколиственных лесов на высотах более 300 м н.у.м. (более половины из них – выше 400 м н.у.м.). В условиях заповедника состояние популяции не угрожаемое, но выявлены лишь единичные крупные талломы, произрастающие на коре стволов старовозрастных деревьев дуба, липы и ясеня.

Рочелла водорослевая – *Roccella phycopsis* Ach. Вид встречается исключительно в поясе ксерофильных и гемиксерофильных субсредиземноморских формаций, в можжевеловых, фисташково-можжевеловых, пушистодубово-можжевеловых лесах – почти всегда ниже 200 м н.у.м.; большинство находок сделано в пределах до 1 км от берега Черного моря. В заповеднике встречается группами особей или одиночными экземплярами, чаще всего на можжевельнике высокоом, редко на дубе пушистом, один раз найден на стволе фисташки, три

раза – на камнях в основании стволов можжевельника. Большая часть находок сделана в 72 и 79 кварталах, но в результате пожара в 2020 г. часть утришской популяции *Roccella phycopsis* в районе 2-ой – 4-ой лагун (кв. 72, 79) была уничтожена.

Таблица

Встречаемость охраняемых видов лишайников в заповеднике «Утриш»

| Вид (общее кол-во находок) | Номера кварталов (кол-во находок) | Форофит / субстрат (кол-во находок) |
|--|--|---|
| <i>Lobaria pulmonaria</i> (116) | 2(3), 5(1), 13(1), 14(7), 15(2), 16(1), 17(2), 18(3), 20(1), 22(3), 23(1), 27(5), 28(3), 29(1), 30(5), 31(4), 32(61), 34(3), 41(1), 44(3), 45(5), 47(1), 48/49(19), 50(4), 51(2), 52(2), 55(4), 57(2), 58(7), 60(2), 61(2), 63(7), 71(1), 73(2), 75(1), 77(4), 79(1) | дуб (62) граб (6) грабинник (7) липа (109) ясень (26) |
| <i>Ricasolia amplissima</i> (11) | 14(1), 21(1), 27(3), 28(1), 31(1), 48/49(3), 58(1) | дуб (7) липа (2) ясень (2) |
| <i>Roccella phycopsis</i> (24) | 13(1), 27(3), 40(1), 42(1), 47(1), 69(2), 72(9+1 га ПП*), 79(5), 80(1) | дуб (8) можжевельник (255) фисташка (1) камень (3) |
| <i>Teloschistes chrysophthalmus</i> (14) | 27(1), 28/40(1), 30(1), 41(1), 42(6), 46(1), 49(1), 58(1), 79(1) | грабинник (10) держи-дерево (1) дуб (3) фисташка (2) |
| <i>Tornabea scutellifera</i> (>1000) | Практически во всех кварталах в поясе ксерофильных и гемиксерофильных субсредиземноморских формаций и в нижней части пояса мезофильных широколиственных лесов | На большинстве пород деревьев и кустарников в пределах указанных поясов |

Примечание: * – в 72 кв. обследована пробная площадь (ПП) 1 га с видом *Roccella phycopsis*, поселившимся примерно на 50 деревьях можжевельника высокого.

Телосхистес золотистоглазый – *Teloschistes chrysophthalmus* (L.) Beltr. В России выявлено всего 9 локалитетов только на п-ове Абрау, на территории заповедника «Утриш» и в его окрестностях – везде с единичными талломами. Обитает в сообществах субсредиземноморского типа, в можжевельново-фисташковых редколесьях на экспонированных приморских склонах в пределах до 200 м н.у.м. Произрастает на веточках кустарников и небольших деревьев в условиях хорошего и постоянного освещения. Прошедший в 2020 г. лесной пожар между Бол. и Мал. Утришом уничтожил две субпопуляции в Базовой щели и на склонах горы Медведь.

Торнабея блюдценосная – *Tornabea scutellifera* (With.) J.R. Laundon. На территории заповедника «Утриш» в сообществах субсредиземноморского типа выявлена крупнейшая в России популяция, общая численность которой может достигать десятков тысяч талломов, с плотностью до 100 экз. на 1 га. Лесной пожар 2020 г. уничтожил примерно 10 % утришской популяции в районе 2-ой – 4-ой лагун.

ЛИТЕРАТУРА

1. Огуреева, Г. Н. Структура ботанического разнообразия Утришко-Туапсинского варианта Крымско-Новороссийского оробиома / Г. Н. Огуреева, М. В. Бочарников, Е. Г. Сулова // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 4 (85). – С. 10–17.

2. Перечень объектов растительного мира, занесённых в Красную Книгу Российской Федерации / Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23.05.2023 № 320.

ШИРОКО РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ОХРАНЯЕМЫЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ В ЗАПОВЕДНИКАХ РОССИИ

Г.П. Урбанавичюс¹, И.Н. Урбанавичене²

¹Уральский федеральный университет, 620000, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51,
e-mail: g.urban@mail.ru

²Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН,
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 2

WIDESPREAD PROTECTED LICHEN SPECIES IN NATURE RESERVES OF RUSSIA

G.P. Urbanavichus¹, I.N. Urbanavichene²

¹Ural Federal University, 51 Lenin Ave., Ekaterinburg, 620000 Russia; e-mail: g.urban@mail.ru

²Komarov Botanical Institute RAS, 2 Prof. Popov St., St.-Petersburg, 197376 Russia

В настоящее время в России функционируют 111 заповедников (включая переведенные в статус национального парка заповедники Гыданский, Командорский, Столбы и Тебердинский) и 62 национальных парка. В новый перечень Красной книги России занесено 75 видов лишайников [1]. Из них, почти каждый седьмой вид находится под угрозой исчезновения (категория 1). Это реально угрожаемые виды, численность которых кардинально сократилась. И если не предпринять специальных мер охраны, то в ближайшем будущем некоторые из них могут исчезнуть из природной флоры России. В то же время, примерно четверть видов лишайников из нового перечня Красной книги России обладает очень широким распространением – они встречаются в десятках регионов России и отмечены на десятках ООПТ. Здесь мы будем учитывать только государственные природные заповедники. Хотя обсуждаемые виды лишайников встречаются во многих национальных парках, федеральных и региональных заказниках, памятниках природы, природных парках и иных ООПТ.

В 2001 г. были обобщены сведения о находках «краснокнижных» видов лишайников в заповедниках России [2], основанных на списке из Красной книги РСФСР [3]. За прошедшее время уже дважды поменялся перечень видов, внесенных в Красную книгу России, и особенно существенно – в 2023 г. [1]. Но еще более кардинально изменились сведения о распространении многих «краснокнижных» видов лишайников, унаследованных от Красной книги РСФСР. К сожалению, такие виды не получили объективной оценки категории статуса угрозы исчезновения, основанной на современных методиках МСОП. Поэтому мы решили выяснить, как изменились данные о наличии «краснокнижных» видов в заповедниках России.

В таблице показано изменение числа заповедников за период с 1988 г. по 2024 г., в которых отмечены наиболее распространенные виды лишайников, внесенные в новый перечень Красной книги России [1]. Существенные изменения сведений о распространении этих видов связаны, главным образом, с заметным улучшением состояния изученности флоры лишайников в заповедниках за последние 30 лет. И лишь иногда увеличение числа заповедников объясняется таксономическими изменениями.

Так, число заповедников, в которых отмечены виды после 1994 г., увеличилось в 2.1 раза – для *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., в 2.9 раза – для *Nephromopsis laureri* (Kremp.) Kurok., в 1.8 раза – для *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal., в 3.2 раза – для *Leptogium hildenbrandii* (Garov.) Nyl., в 3.3 раза – для *Asahinea scholanderi* (Llano) W. L. Culb. & S. F. Culb. (табл.). Увеличение числа известных заповедников в 23 раза для *Puxine sorediata* (Ach.) Mont. связано как раз с тем, что ранее в Красную книгу РСФСР был включён вид *Puxine endochrysoides* (Nyl.) Degel., который оказался синонимом *P. sorediata*. Поэтому, при учёте литературных данных этот вид оказался известным для столь большого числа заповедников.

**Изменение данных о заповедниках, в которых встречены
наиболее широко распространенные виды из Красной книги России (1988-2024 гг.)**

| Вид | Число заповедников с видами из Красной книги России | | | |
|----------------------------------|---|---------|---------|---------------------|
| | 1988 г. | 1994 г. | 2001 г. | 2024 г. |
| <i>Lobaria pulmonaria</i> | 8 | 30 | 43 | 62 |
| <i>Nephromopsis laureri</i> | 1 | 9 | 22 | 26 |
| <i>Pухine sorediata</i> | - | 1 | 12 | 23 |
| <i>Menegazzia terebrata</i> | - | 12 | 16 | 22 |
| <i>Leptogium hildenbrandii</i> * | - | 5 | 11 | 16 |
| <i>Asahinea scholanderi</i> | 2 | 4 | 9 | 13 |
| Источник | [3] | [4] | [2] | настоящие данные |

Примечание: * – вид был указан для Северо-Осетинского заповедника [2, 4], но впоследствии исключенный на основании ошибочных данных [5].

Приведем здесь перечень заповедников, в которых отмечена *Lobaria pulmonaria*: Азас, Алтайский, Байкало-Ленский, Байкальский, Баргузинский, Басеги, Башкирский, Большая Кокшага, Большехехцирский, Буреинский, Верхне-Тазовский, Висимский, Витимский, Вишерский, Волжско-Камский, Дарвинский, Денежкин Камень, Джергинский, Жигулевский, Зейский, Ильменский, Кабардино-Балкарский, Кавказский, Кандалакшский, Карадакский, Катунский, Кедровая падь, Керженский, Кивач, Кологривский лес, Комсомольский, Костомукшский, Кроноцкий, Кузнецкий Алатау, Курильский, Лазовский, Лапландский, Малая Сосьва, Мордовский, Нижне-Свирский, Норский, Нургуш, Печоро-Илычский, Пинежский, Поронайский, Присурский, Рдейский, Саяно-Шушенский, Северо-Осетинский, Сихотэ-Алинский, Столбы, Тебердинский, Тигирекский, Тунгусский, Уссурийский, Утриш, Центрально-Лесной, Центрально-Сибирский, Шульган-Таш, Юганский, Южно-Уральский, Ялтинский горно-лесной.

К сожалению, принятые правила подачи информации в очерках для нового издания Красной книги России исключают перечисление всех заповедников, в которых отмечены виды лишайников, занесённых в Красную книгу. Таким образом, теряется информация, накопленная целыми поколениями специалистов, крайне важная для объективной оценки категорий статуса угрозы и редкости угрожаемых видов лишайников, либо, наоборот, показывающая не редкость и не угрожаемый статус ряда видов, внесённых в последний Перечень Красной книги России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перечень объектов растительного мира, занесённых в Красную Книгу Российской Федерации / Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23.05.2023 № 320.
2. Урбанавичюс, Г. П. Дополнения и комментарии к очередному изданию Красной книги России: охраняемые виды лишайников в заповедниках России / Г. П. Урбанавичюс, И. Н. Урбанавичене // Заповедное дело. Научно-методические записки. Вып. 8. – М., 2001. – С. 17–28.
3. Красная книга РСФСР. Растения. – М., 1988. – 592 с.
4. Растения Красных книг в заповедниках России. – М., 1994. – 300 с.
5. Урбанавичюс, Г.П. Виды лишайников, предлагаемые к внесению в Красную книгу Республики Северная Осетия – Алания / Г.П. Урбанавичюс, И.Н. Урбанавичене // Ботанический вестник Северного Кавказа. – 2021. – № 1. – С. 60–71.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА
ЛИШАЙНИКОВ ПОРЯДКА TELOSCHISTALES ВДОЛЬ ДОЛГОТНОЙ ТРАНСЕКТЫ
ЯКУТСК–МАГАДАН–КАМЧАТКА**

И.В. Фролов¹, И.А. Прокопьев², П.Д. Туманина³

¹Ботанический сад УрО РАН, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

²Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН,
197022, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 2, литера В

³Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9
e-mail: ivfrolov@gmail.com

**PRELIMINARY ANALYSIS OF CHANGES IN THE SPECIES COMPOSITION
OF LICHENS OF THE ORDER TELOSCHISTALES
ALONG THE LONGITUDINAL TRANSECT YAKUTSK–MAGADAN–KAMCHATKA**

I.V. Frolov¹, I.A. Prokopiev², P.D. Tumanina³

¹Institute Botanic Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
202A 8 March St., Yekaterinburg, 620144 Russia

²Komarov Botanical Institute RAS, 2 Prof. Popov St., litera V, St. Petersburg, 197022 Russia

³St. Petersburg State University, St. Petersburg, 7-9 Universitetskaya Emb., 199034 Russia
e-mail: ivfrolov@gmail.com

Изучение закономерностей географического распространения видов и надвидовых таксонов живых организмов на больших пространствах является одной из фундаментальных научных проблем биологии и главным аспектом биогеографии. В рамках исследования биоразнообразия лишайников порядка *Teloschistales* на Дальнем Востоке России мы проанализировали распределение телошистовых вдоль долготной трансекты Якутск–Магадан–полуостров Говена–Командорские острова. Трансекта проходит в северной части бореально-макробиооклимата в долготном направлении от океанического сектора континентальности (Командорские острова), через субокеанический сектор (полуостров Говена, Камчатка), приморский сектор (южная часть Магаданской области вдоль трассы Магадан–Якутск) до континентального сектора континентальности (юго-восточная часть Якутии вдоль трассы Якутск–Магадан). Границы секторов определялись по П.В. Крестову [1]. Анализ проводили на основании собственных сборов вдоль трассы Якутск–Магадан, сборов Д. Гимельбранта, И. Степанчиковой и А. Зуевой с Командорских островов, а также литературных данных по полуострову Говена [2].

Анализ показал, что при движении от Якутска (континентальный сектор) к Магадану (приморский сектор) существенные изменения видового состава телошистовых происходят только непосредственно на морском побережье, где появляются эпилитные виды, обитающие в супралиторальной зоне. Характерные приморские эпифитные виды телошистовых, известные, например, на морском побережье юга Дальнего Востока, здесь отсутствуют (некоторые виды *Gyalolechia*, *Orientophila* и др.). На всём остальном протяжении этой части трансекты заметные изменения видового состава, главным образом, зависят не от долготы, а от растительного сообщества и рельефа. Так, видовой состав пойменных лесов в окрестностях Якутска, практически не отличается от видового состава пойм окрестностей Магадана. Здесь в приморском климате по сравнению с континентальным, по предварительным данным, выпадает только один вид – *Orientophila infirma* I.V. Frolov et al. В степеподобных сообществах при движении от континентального сектора к приморскому, также по предварительным данным, выпадают напочвенные виды *Caloplaca raesaenii* Bredkina и *Xanthocarpia tominii* (Savicz) Frödén et al. – они не были найдены в таких сообществах Магаданской области, но присутствуют в Якутии. Кроме того, на коротком отрезке трансекты был обнаружен участок с повышенным и отчасти уникальным биоразнообразием, расположенный в горах Сунтар-Хаята

(континентальный сектор). Некоторые виды на трансекте найдены только здесь: *Gyalolechia lenae* (Søchting et G. Figueras) Søchting et al., *Leproplaca chrysodeta* (Vain.) J.R. Laundon и некоторые другие. Кроме того, недавно [3] отсюда описан и пока только здесь известен новый род и новый вид *Neoplaca mirabilis* I.V. Frolov, Prokopiev et Konoreva. Эти изменения биоразнообразия на трансекте в пределах хребта Сунтар-Хаята, очевидно, связаны не (или, по крайней мере, не только) с изменением континентальности климата, а с наличием здесь специфических местообитаний (например, узкие речные долины как с ксерофитными, так и с влажными затенёнными склонами, с обилием выходов карбонатизированных горных пород). Видовой состав телошистовых в отдельных локалитетах вдоль трансекты Якутск–Командоры мы предварительно сравнили с использованием иерархического кластерного анализа (метод Варда, расстояние Пирсона). Локалитеты разделились на два главных кластера: один объединяет все локалитеты континентального сектора и локалитеты приморского сектора, не связанные с морским побережьем, а второй кластер объединяет все локалитеты океанического и субокеанического секторов (полуостров Говена на Камчатке и Командорские острова) и локалитеты приморского сектора, находящиеся на морском побережье (окрестности Магадана). Внутри этих больших кластеров объединение локалитетов происходит, главным образом, на основании принадлежности к тому или иному типу местообитания.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00207, <https://rscf.ru/project/23-24-00207/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крестов, П. В. Растительный покров и фитогеографические линии Северной Пацифики : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.05 / Павел Витальевич Крестов; БПИ ДВО РАН. – Владивосток, 2004. – 42 с.
2. New exploration in Koryakia – the lichens of the Cape Goven, Bering Sea coast (Northern Kamchatka, Russia) / D. E. Himelbrant, I. S. Stepanchikova, T. Ahti, V. Yu. Neshataeva // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. – 2021. – Vol. 55, N 11. – P. 121–162.
3. Frolov, I. V. *Neoplaca mirabilis*, a new genus and a new epigaeic species containing naphthopyrans from the family *Teloschistaceae* / I. V. Frolov, I. A. Prokopiev, L. A. Konoreva // *The Lichenologist*. – 2023. – Vol. 55. – P. 443–450.

ПИГМЕНТНЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКОВ РОДА *PELTIGERA* НА ДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

**А.Ф. Хайруллина, Д.Ф. Рахматуллина, Е.И. Галеева, В.Р. Хабибрахманова,
О.П. Гурьянов, Ю.Н. Валитова, Ф.В. Минибаева**
*Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН,
420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31
e-mail: a16280110@gmail.com*

PIGMENT RESPONSE OF LICHENS OF THE GENUS *PELTIGERA* ON THE EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURE

**A.F. Khairullina, D.F. Rakhmatullina, E.I. Galeeva, V.R. Khabibrakhmanova,
O.P. Guryanov, J.N. Valitova, F.V. Minibayeva**
*Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics KazSC RAS,
2/31 Lobachevsky St., Kazan, Republic of Tatarstan, 420111 Russia
e-mail: a16280110@gmail.com*

В условиях быстроменяющегося климата и повышения среднегодовой температуры актуальным является изучение физиологической стрессовой реакции организма, вызванной действием высокой температуры. Появляется все больше свидетельств того, что климатиче-

ские условия меняются глобально, создавая одну из самых больших угроз биоразнообразию [1]. Как симбиотические организмы, лишайники представляют собой интересную модельную систему для изучения стрессовой устойчивости. Благодаря своей пойкилогидридной природе лишайники относятся к числу организмов наиболее чувствительных к климатическим факторам [2]. Известно, что в сухом состоянии лишайники способны переносить изменения температур в широком диапазоне, тогда как увлажненные талломы гораздо более чувствительны к действию неблагоприятных температур [3].

Лишайники рода *Peltigera* распространены по всему миру, преимущественно произрастают в экологических нишах с умеренным климатом, в связи с этим действие на эти лишайники повышенной температуры может быть стрессовым. Представителей данного рода объединяет более высокий темп роста и активный редокс-метаболизм. Данные лишайники интересны для изучения фотосинтеза и пигментного состава, так как имеют относительно высокое содержание фотобионта и, следовательно, богаты пигментами и обладают высокой фотосинтетической активностью [4].

Известно, что у растений большой вклад в защиту фотосинтетического аппарата вносят каротиноиды: они проявляют антиоксидантную активность, защищают от УФ-лучей, действуя как экранирующие пигменты, и повышают устойчивость фотосинтетических мембран, связываясь с белками и липидами [5]. Представляет интерес изучение роли данных пигментов в стрессовой устойчивости лишайников.

Основной идеей исследования было сопоставление стресс-индуцированных изменений пигментного состава двух близкородственных лишайников рода *Peltigera* при действии повышенной температуры: *P. canina* и *P. aphthosa*. Данные лишайники обладают различным составом фотобионтов. *P. aphthosa* в отличие от *P. canina* является трехкомпонентным лишайником, в его состав помимо цианобактерии *Nostoc* входит зеленая водоросль *Coccomyxa*, вследствие чего возможны различия в пигментном составе лишайников, их фотосинтетической активности и в специфичности стрессового ответа.

Целью данного исследования было выявление вклада фотосинтетических пигментов в формирование стратегии стрессового ответа исследуемых лишайников на действие повышенной температуры с учетом особенностей их симбионтов. Для создания стресса талломы лишайника инкубировались в климатической камере при температуре + 40 °С в течение 3 ч с поддержанием постоянной влажности. Контролем служили гидратированные талломы лишайников, не подвергнутые стрессовой обработке. Для более глубокого понимания процессов, происходящих в фотосинтетическом аппарате лишайников в условиях высокотемпературного стресса, нами были проанализированы пигментный состав лишайников и их фотосинтетическая активность.

Установлено, что воздействие повышенной температуры значительно повлияло на флуоресценцию хлорофилла α лишайников рода *Peltigera*. Сравнение фотосинтетической активности контрольных образцов исследуемых лишайников показало, что у *P. aphthosa* некоторые показатели фотосинтеза значительно выше, чем у *P. canina*, что может свидетельствовать о более развитой фотосинтетической системе у *P. aphthosa*. При воздействии повышенной температуры наблюдается снижение максимальной фотохимической эффективности ФС II (F_v/F_m) у обоих видов лишайников, причем у *P. canina* этот показатель уменьшился в большей степени – в 3.4 раза. Скорость потока электронов через фотосистемы и индекс жизнеспособности также в большей степени снижались у *P. canina* по сравнению с *P. aphthosa*.

ВЭЖХ-анализ показал, что преобладающим каротиноидом в лишайнике *P. aphthosa* является лютеин, также показано наличие β -каротина, виолоксантина, неоксантина, зеаксантина, эхиненона и нескольких неидентифицированных каротиноидов. На присутствие в лишайнике зеленой водоросли *Coccomyxa* указывает наличие в составе пигментов хлорофилла *b*. При действии повышенной температуры на гидратированные талломы лишайника *P. aphthosa* происходило уменьшение содержания всех обнаруженных пигментов, как хлорофиллов, так и каротиноидов.

Было обнаружено, что преобладающим каротиноидом лишайника *P. canina* является β -каротин, кроме того, показано наличие неоксантина, виолаксантина, антраксантина, кантаксантина, зеаксантина, лютеина и нескольких неидентифицированных каротиноидов. В отличие от *P. aphthosa*, в лишайнике *P. canina* температурное воздействие приводило к значительному увеличению общего пула пигментов, как каротиноидов, так и хлорофиллов. Увеличение общего пула каротиноидов может быть направлено на защиту фотосинтетического аппарата лишайника от разрушительного действия АФК.

Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что несмотря на близкое родство исследуемых лишайников, в условиях высокотемпературного стресса, они демонстрируют две различные пигмент-опосредованные стратегии стрессового ответа. Судя по физиологическим показателям, *P. aphthosa* более успешно справляется со стрессовым воздействием, возможно, обусловлено усилением фотосинтетического аппарата лишайника дополнительным фотобионтом – зеленой водорослью *Coccomyxa*.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и при финансовой поддержке гранта РФФ № 22-14-00362.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bellard, C. Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots / C. Bellard, C. Leclerc, F. Courchamp // *Global Ecology and Biogeography*. – 2014. – Vol. 23. – P. 203–212.
2. Nascimbene, J. Epiphytic lichen diversity along elevational gradients: biological traits reveal a complex response to water and energy / J. Nascimbene, L. Marini // *Journal of Biogeography*. – 2015. – Vol. 42. – P. 1222–1232.
3. Beckett, R. P. Stress physiology and the symbiosis / R. P. Beckett, I. Kranner, F. V. Minibayeva // *Lichen biology*, 2008. – P. 134–151.
4. Котлова, Е. Р. Антиокислительные системы лишайников: дисс. канд. биол. наук: 03.00.1203.00.24 / Екатерина Робертовна Котлова; Ботанический институт им. В. Л. Комарова. – Санкт-Петербург, 2000. – 199 с.
5. Ладыгин, В. Г. Пути биосинтеза, локализация, метаболизм и функции каротиноидов в хлоропластах различных видов водорослей / В. Г. Ладыгин // *Вопросы современной альгологии*. – Пушино, 2014. – 87 с.

ЛИШАЙНИКИ ДОЛИНЫ РЕКИ ИКАТ (СЕВЕРНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Т.М. Харпухаева

*Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
e-mail: takhar@mail.ru*

LICHENS OF IKAT VALLEY (NORTHERN PRIBAIKAL'Е)

T.M. Kharpukhaeva

*Institute of General and Experimental Biology Siberian Branch
of Russian Academy of Science, 6 Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047 Russia
e-mail: takhar@mail.ru*

В статье приведен краткий обзор лишайников, встречающихся в долине р. Икат. Река относится к водосборному бассейну р. Баргузин и расположена между 54°56' и 55°27' с.ш. и 111°11' и 111°58' в.д. Река Икат берет начало на высоте 1350 м н. у. м. в узкой долине, ограниченной отрогами западного макросклона Икатского хребта. Горы сложены древними кристаллическими породами, состоящими главным образом из гранитов, гнейсов, кристаллических сланцев, кварцитов, известняков и других пород. Растительность представлена различными типами лишайников: зеленомошными, кедрово-стланиковыми, разнотравными,

багульниково-зеленомошными, ерниково-лишайниковыми, кустарниково-разнотравными. В нижней части долины встречаются пойменные еловые леса и тополево-чозениевые рощи. В среднегорном поясе распространены леса горнотаежного ВПК Восточно-Прибайкальской горной лесорастительной провинции [1], отличающиеся довольно высоким типологическим разнообразием. Лиственничники рододендроновые, разнотравно-злаковые и брусничные приближены по составу видов к подтайге.

Материал собирали маршрутным методом в 2017-2019 гг. Морфологию и анатомию лишайников изучали стандартными микроскопическими методами.

Предварительно выявлено 254 вида лишайников. Это список, дополняющийся в настоящее время. Ценотически значимыми – по занимаемой площади (пространству) – лишайники являются в подгольцовом поясе. Кладониево-беломошный комплекс видов возникает в лиственничных редколесьях лишайниковых и кедрово-стланиково-лишайниковых на бедных и хорошо дренированных почвах. Наличие подлеска и кустарникового яруса (кедрового стланика и ерника) ненамного увеличивает затененность, а отсутствие развитого мохового и травяного покрова позволяют лишайникам рода *Cladonia* образовывать сплошной покров, проективное покрытие которого доходит до 95 %.

Комплекс эпифитных таежных видов представлен широко распространенными бореальными видами. Видовое разнообразие возрастает в долинных темнохвойных лесах – ельниках или смешанных елово-кедровых лесах с примесью тополя душистого. Темнохвойные еловые леса имеют отличный от склоновых лиственничных лесов характер благодаря микроклимату, обусловленному гидрологическими особенностями. Своеобразие придают им эпифиты, особенно виды рода *Usnea* с длинными свисающими талломами: *U. longissima* Ach., *U. cavernosa* Tuck., *U. filipendula* Stirt., а также виды *Bryoria nadvornikiana* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw., *B. trichodes* (Michx.) Brodo et D. Hawksw. В лиственничниках преобладают виды этих родов с коротким торчащим слоевищем: *U. subfloridana* Stirt., *U. glabrescens* (Nyl. ex Vain.) Vain., *U. fragilescens* Hav. ex Lynge и *Bryoria simplicior* (Vain.) Brodo ex Hawksw., *B. furcellata* (Fr.) Brodo et D. Hawksw. На стволах лиственных и ветвях хвойных деревьев в образовании эпифитных синузид принимают участие различные представители семейства *Physciaceae*. На ветвях ели, тополя душистого, на валежнике очень обильный редкий вид *Leptogium burnetiae* C.W. Dodge. *Usnea longissima*, *Lobaria pulmonaria* Ach. – виды-гигромезофиты, которые рассматриваются как индикаторы старовозрастных лесов.

Особенностью сложения долины р. Икат являются выходы карбонатных пород, представленных мраморами и известняками. Эпилитная кальцефитная флора представлена видами *Gypsoplaca macrophylla* (Vain.) Timdal, *Rinodina bischoffii* (Hepp) A. Massal., *Placynthium nigrum* (Huds.) Gray, *Toninia tristis* (Th. Fr.) Th. Fr., *Toninia sedifolia* (Scop.) Timdal, *Rusavskia elegans* (Link.) S.Y. Kondr. et Kärnefelt, *Buellia elegans* Poelt et Sulzer, *Acarospora glaucocarpa* (Ach.) Körb., *Rhizocarpon chioneum* (Norman) Th. Fr., *Protoblastenia calva* (Dicks.) Zahlbr., *Catillaria detractula* (Nyl.) H. Olivier и другими.

Помимо карбонатов в долине р. Икат имеются выходы железистых песчаников, гранитов и кварцитов, как правило, на крутых экспонированных склонах. Растительность таких ландшафтов имеет степной характер и представлена мелкодерновыми злаками и поlysнями. Преобладает комплекс лишайников, характерных для горных пород в экспозиционной степи с доминированием *Xanthoparmelia stenophylla* (Ach.) Ahti et D. Hawksw. в сочетании с видами рода *Collema*, такими как *C. crispum* (Huds.) Weber ex F.H. Wigg., *C. cristatum* (L.) Weber ex F.H. Wigg., *C. tenax* (Sw.) Ach., а также видами *Endocarpon pusillum* Hedw., *Catapyrenium rufescens* (Ach.) Breuss., *Scytinium lichenoides* (L.) Otolara, P.M. Jørg. et Wedin, *Toninia tristis*, *Melanelia tominii* (Oxn.) Essl., *Anamylopsora pulcherrima* (Vain.) Timdal., *Lecanora cenisia* Ach., *L. crustacea* (Savicz) Zahlbr., *Phaeophyscia sciastra* (Ach.) Moberg, *Umbilicaria muehlenbergii* (Ach.) Tuck., *Lasallia pensylvanica* (Hoffm.) Llano и др.

При всей сложности в распределении лишайников по территории, по-видимому, наибольшее влияние на структуру лишайниковой растительности имеют: 1) высотная поясность

и ориентация макросклонов хребта, 2) растительные формации, 3) субстратные и экологические условия мест произрастания.

Обнаружено 10 видов, занесенных в Красные книги различного уровня. В Красную книгу Республики Бурятия включены 10 видов [2]. Из них один вид – *Puxine sorediata* (Ach.) Mont., эпилит в обилии встречающийся на скалах на экспонированных склонах в лесном поясе. Вид *Normandina pulchella* (Borrer) Nyl. является эпилитофитом. Прочие охраняемые виды являются эпифитами: *Pannaria conoplea* (Ach.) Vory, *Leptogium burnetiae* C.W. Dodge, *L. hildebrandii* (Garov.) Nyl., *Punctelia subrudecta* (Nyl.) Krog, *Usnea longissima* Ach., *Usnocetraria oakesiana* (Tuck.) M.J. Lai et J.C. Wei. В Красную книгу РФ [3] включены *Puxine sorediata* (Ach.) Mont., *Leptogium burnetiae*, *L. hildebrandii*, *Usnocetraria oakesiana* (Tuck.) M. J. Lai et J. C. Wei, *Lobaria pulmonaria* Ach., *Nephromopsis laureri* (Krempf.) Kurok. Охраняемые федеральным законом виды отнюдь не являются редкими видами для республики. Некоторые, как *Leptogium burnetiae*, *Nephromopsis laureri* даже являются массовыми в лесном или лесостепном поясах, как например, вид *Puxine sorediata*.

Наиболее интересной находкой можно считать *Usnocetraria oakesiana* – реликтовый вид третичной мезофильной флоры. В Красную книгу Республики Бурятия [3] занесен с категорией 3 (БУ) – редкий вид в состоянии, близком к угрожаемому.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типы лесов гор Южной Сибири. / Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И. и др. – Новосибирск, 1980. – 336 с.
2. Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации: Приказ Министерства природных ресурсов № 320 от 23.05.2023 г.
3. Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Республики Бурятия: Приказ Министерства природных ресурсов Республики Бурятия № 380 от 06.09.2023 г.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИШАЙНИКОВ В ЛАНДШАФТЕ ПОЛЯРНЫХ ПУСТЫНЬ АРХИПЕЛАГОВ ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА И НОВАЯ ЗЕМЛЯ

С.С. Холод^{1,2}, И.С. Степанчикова^{1,2}, Л.А. Конорева^{1,2,3}, С.В. Чесноков^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9

²Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН,
197342, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 2

³Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН,
184256, г. Кировск, ул. Ботанический сад, д. 8
e-mail: stepa_ir@mail.ru

DISTRIBUTION OF LICHENS IN THE LANDSCAPE OF POLAR DESERTS OF THE FRANZ JOSEPH LAND AND NOVAYA LAND ARCHIPELAGOES

S.S. Kholod^{1,2}, I.S. Stepanchikova^{1,2}, L.A. Konoreva^{1,2,3} and S.V. Chesnokov^{1,2}

¹ St. Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034 Russia

² Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
2 Prof. Popov St., St. Petersburg, 197022 Russia

³ Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of Kola Scientific Centre
of the Russian Academy of Sciences, 8 Botanical Garden St., Kirovsk, 184256 Russia
e-mail: stepa_ir@mail.ru

Для полярных пустынь архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля проведен анализ зависимости распределения лишайников от высоты над уровнем моря, экспозиции по странам света, гранулометрического состава грунтов, морфометрических параметров струк-

турных грунтов, проективного покрытия мохообразных и суммарного покрытия подушечных форм растений, а также сопоставление выявленных закономерностей для обоих архипелагов [1, 2].

Число видов лишайников с высотой убывает как на Земле Франца-Иосифа, так и в полярных пустынях Новой Земли. Но если для последней территории причина этого – климатическая (уменьшение температуры на высотах более 220 м), то на Земле Франца-Иосифа на небольшом диапазоне высот действует также и фактор времени: многие территории на высотах 60-80 м только в самое недавнее время освободились ото льда, поэтому процесс заселения и освоения этих участков лишайниками еще не закончился. Такая же закономерность прослеживается и для показателя «проективное покрытие». Величина этого показателя уменьшается с высотой на обоих архипелагах (рис. *a*, *b*). Особенно заметно она уменьшается у листоватых форм, что определяется эрозионным действием ветра на больших высотах, когда повреждаются особенно крупные слоевища. Уменьшение проективного покрытия накипных форм с увеличением высоты объясняется недавним выходом горных пород на высотах 60-80 м из-под ледникового покрова и, соответственно, начальной стадией процесса заселения этих лишайников, слоевища которых требуют особенно длительного времени для разрастания. На градиенте увеличения теплообеспеченности (баллы 1-8: от наиболее холодных, северных экспозиций – 1, 2 – до наиболее теплых – 6-8) происходит монотонное возрастание проективного покрытия, причем, наиболее ярко эта тенденция выражена для накипных форм, где на склонах южной и юго-западной экспозиций проективное покрытие достигает 30-35 %. Очень часто при увеличении проективного покрытия мхов до 35 % увеличивается и покрытие лишайников. Но уже когда формируются моховые ковры с покрытием более 50 %, они вытесняют лишайники, а при проективном покрытии мхов около 80 % лишайники полностью выпадают. Однако вытеснение мхами лишайников может происходить и при невысоком проективном покрытии (не более 12-15 %) в трещинах между полигонами или в краевых частях полигонов (между щебнисто-суглинистой площадкой и бордюром из плитняка).

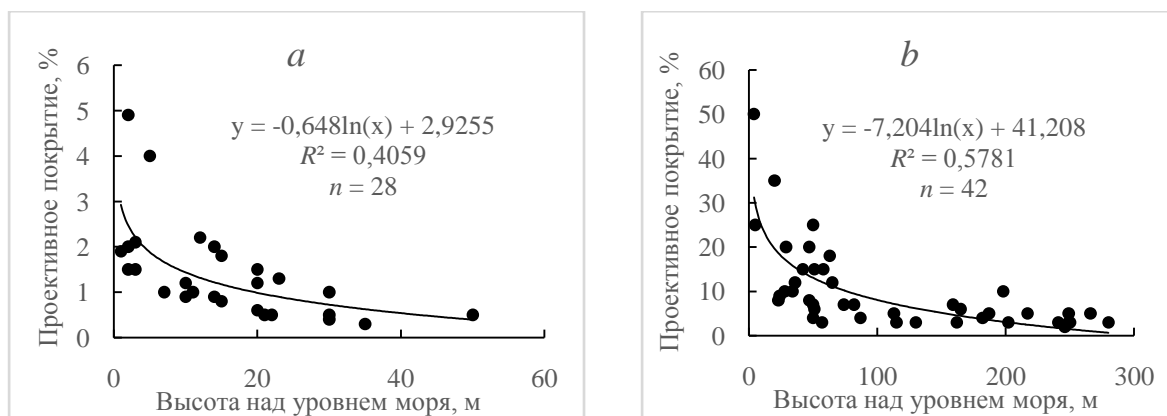


Рис. Зависимость между суммарным проективным покрытием накипных лишайников и высотой над уровнем моря: *a* – Земля Франца-Иосифа, *b* – крайний север архипелага Новая Земля

Таким образом, проведенное сопоставление варьирования величин числа видов и проективного покрытия лишайников в зависимости от ряда факторов показало близкие по характеру зависимости между территориями полярных пустынь архипелага Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. При интенсивной перетасовке видов по разным местообитаниям типологические границы между выделенными типами сообществ – неотчетливые. По-видимому, имеет место наложение в пространстве нескольких градиентов: так, на градиент высоты над уровнем моря накладывается градиент расстояния до края ледника, экспозиция склона может коррелировать с крутизной поверхности. Параметры числа видов и проективного покрытия

во многом определяются чисто локальными факторами, действующими на уровне микро-рельефа. Так, проективное покрытие мхов или лишайников на поверхности крупного валуна определяется не столько абсолютной высотой, сколько экспозицией по отношению к солнечному теплу и господствующим ветрам, а также крутизной поверхности валуна, наличием мелких трещин на поверхности [1].

Современная картина распределения лишайников крайнего севера Новой Земли во многом объясняется историческими причинами – молодостью территории, недавно освободившейся из-под ледникового покрова, и исключительно высокой степенью подвижности чехла рыхлых четвертичных отложений [2]. Главная тенденция, проявляющаяся в ландшафте архипелага Земля Франца-Иосифа – активно протекающая дегляциация территории. Процесс отступания ледниковых куполов на многих островах начался совсем недавно, во многих случаях ширина полосы между берегом моря и краем современного ледника измеряется первыми сотнями метров, в пределах которых на некоторых участках еще лежит лед, верхний слой грунта насыщен влагой, стабильных участков грунта (кроме выходов коренных пород) крайне мало. Все это приводит к тому, что установить какую-либо тенденцию в динамике формирования лишайникового покрова на этих участках крайне трудно. На архипелаге недостаточно отчетливо прослеживаются экологические градиенты глобального порядка, в частности, широтной зональности и высотной поясности. Но в то же время, благодаря охлаждающему эффекту большой массы льда, уменьшение температуры с высотой происходит довольно интенсивно. Все это способствует тому, что глобальные экологические закономерности носят на архипелаге ярко выраженный локальный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kholod, S. Influence of orographic factors on the distribution of lichens in the Franz Josef Land archipelago / S. Kholod, L. Konoreva, S. Chesnokov // Plants. – 2024. – Vol. 13. – P. 193.
2. Kholod, S. S. Lichens in the Polar Deserts of the Northern Tip of the Novaya Zemlya Archipelago / S. S. Kholod, L. A. Konoreva // Doklady Biological Sciences. – 2022. – Vol. 506. – P. 212–238.

EPHYPHYTIC LICHEN COVER OF BIRCH AS AN INDICATOR OF NITROGEN POLLUTION IN PARK COMMUNITIES OF MOSCOW AND MOSCOW REGION

D.A. Cherepenina

*Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences,
21 Sovetskaya St., v. Uspenskoe, Odintsovo, Moscow Region, 143030 Russia;
Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences,
4 Botanicheskaya St., Moscow, 127276 Russia;
RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198 Russia
e-mail: diana0075@mail.ru*

ЭПИФИТНЫЙ ЛИХЕНОПОКРОВ БЕРЁЗЫ КАК ИНДИКАТОР АЗОТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПАРКОВЫХ СООБЩЕСТВАХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

Д.А. Черепенина

*Институт лесоведения РАН, 143030, Московская обл., г. Одинцово,
с. Успенское ул. Советская, д. 21;
Главный Ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 4;
Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
e-mail: diana0075@mail.ru*

In recent decades, nitrogen compounds have become one of the priority atmospheric pollutants due to the desulphurization of industrial emissions, sharp increases in agricultural waste and vehicle emissions [1]. In many countries of the world, lichens, including epiphytic lichens, are con-

sidered as indicators of local levels of nitrogen air pollution. Air pollution caused by nitrogen compounds leads to eutrophication of tree crusts. Due to this eutrophication, in the lichen cover of phorophytes with an «acidic» bark, dominants are replaced from acidophytes to nitrophytes [1, 2, et al.].

Birch plantations were chosen as model objects because birch species (*Betula* spp.) are the most frequently occurring phorophytes with an «acidic» bark in parks of Moscow and Moscow Region. According to literature [3], the background acidity (pH) values of birch bark are 3.7. In the parks of museum-reserves (MR) of Moscow and Moscow Region, 10 sample plots were established: A1 – MR «Abramtsevo», Sergiev Posad Urban Okrug, Abramtsevo, 56°14.060'N, 37°58.010'E, < 100 m from Abramtsevskoye Highway; A2 – ibid., 56°14.196'N, 37°58.111'E, > 300 m from the highway; Sh3 – MR of D.I. Mendeleev and A.A. Blok, Shakhmatovo estate, Solnechnogorsk Urban Okrug, Gudino, 56°18.920'N, 37°2.999'E, > 1 km from Tarakanovskoye Highway; B4 – ibid., Boblovo estate, Klin Urban Okrug, Boblovo, 56°23.065'N, 37°0.666'E, about 500 m from the highway; M5 – MR of A.P. Chekhov «Melikhovo», Melikhovo estate, Chekhov Urban Okrug, Melikhovo, 55°6.912'N, 37°38.843'E, < 100 m from the highway; P6 – MR «Podolie», Podolsk, 55°26.266'N, 37°33.425'E, < 100 m from Varshavskoye Highway; G7 – MR «Gorki Leninskie», Leninsky Urban Okrug, Gorki Leninskie, 55°30.590'N, 37°46.366'E, near the motor road; G8 – ibid., 55°30.193'N, 37°46.112'E, along a field cultivated annually; K9 – MR «Kolomenskoye-Izmailovo», Kolomenskoye estate, Moscow, Southern Administrative Okrug, 55°39.379'N, 37°39.262'E, < 100 m from Andropov Avenue and < 350 m from Kashirskoye Highway; K10 – ibid., 55°39.246'N, 37°39.687'E, about 400 m from Kashirskoye Highway. Sample plot T11 – Taldomsky Urban Okrug, 56°46.660'N, 37°59.363'E, spruce-birch forest, > 3 km from 46K-8180 Highway was established as the control pH values of birch bark.

Collection and identification of samples were carried out using standard lichenological methods. To determine the pH values on each sample plot, samples of the crust were taken in the near butt-end horizon (up to 0.6 m) of 4-5 birches with a diameter of 35-60 cm. Sampling and determination of the pH of birch bark were carried out according to the published method [2]. Lichens were assigned to a certain ecological-substrate group in relation to the pH of the substrate according to both the literature [3, 4, etc.] and our own studies conducted in the Moscow Region.

As a result, 42 species of lichens were identified in the lichen cover of birches: 14 species of acidophytes and nitrophytes each, 5 neutrophytes and 9 eurytopic. The average pH values of birch bark at all surveyed sample plots in parks exceed the control and background values (table). This is generally expected for Moscow and Moscow Region, where atmospheric precipitation is characterized by an increased concentration of nitrogen. In addition, levels of nitrogen pollution in parks may be increased due to the use of organic fertilizers in landscaping, as well as keeping and running of horses.

Table

Ratio of acidophytes and nitrophytes in the lichen cover of birch on sample plots

| Sample plots | Average pH values of birch bark | Number of species | | | | |
|--------------|---------------------------------|-------------------|--------|-------------|--------|-------|
| | | Acidophytes | | Nitrophytes | | Total |
| A1 | 4.63±0.22 | 6 | 66.7 % | – | – | 9 |
| A2 | 4.23±0.09 | 8 | 44.4 % | 4 | 22.2 % | 18 |
| Sh3 | 4.26±0.12 | 4 | 44.4 % | 1 | 11.1 % | 9 |
| B4 | 3.86±0.15 | 4 | 100 % | – | – | 4 |
| M5 | 4.00±0.19 | 2 | 22.2 % | 1 | 11.1 % | 9 |
| P6 | 4.86±0.25 | 1 | 14.3 % | 5 | 71.4 % | 7 |
| G7 | 4.41±0.12 | 2 | 13.3 % | 8 | 53.3 % | 15 |
| G8 | 4.86±0.22 | – | – | 1 | 100 % | 1 |
| K9 | 4.60±0.04 | – | – | 10 | 83.3 % | 12 |
| K10 | 4.27±0.03 | – | – | 3 | 60.0 % | 5 |
| T11 Control | 3.75±0.11 | 3 | 60.0 % | – | – | 5 |
| Background | 3.7 | | | | | 42 |

The parks «Abramtsevo», «Shakhmatovo», «Boblovo» and «Melikhovo» are located near the cities of the second zone of the Moscow agglomeration with low levels of pollution [5]. In these parks, the average pH values of birch bark, on average, are lower, and acidophytes predominate in the lichen cover of birches. The parks «Podolie», «Kolomenskoye» and «Gorki Leninskie» with higher pollution levels are located within/near large cities of the first agglomeration zone [5]. Opposite in these parks, the average pH values of birch bark are higher, and nitrophytes dominate: *Candelariella efflorescens*, *Phaeophyscia nigricans*, *Ph. orbicularis*, *Physcia adscendens*, *Ph. aipolia*, *Xanthoria parietina* et al.

The presented data can be used to create a scale of levels of nitrogen pollution in the park communities of Moscow and Moscow Region, based on the ratio of ecological groups of lichens in relation to the acidity of the substrate in the lichen cover of birch.

REFERENCES

1. Abas, A. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges / A. Abas // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 121. – P. 107–197.
2. Muchnik, E. E. The lichen biota as indicator of the oak forest communities state in the Moscow region / E. E. Muchnik // *Problems of ecological monitoring and ecosystem modelling*. – 2017. – Vol. XXVIII, N 6. – P. 5–23.
3. Insarova, I. D. Comparative assessments of epiphytic lichens sensitivity to air pollution / I. D. Insarova, G. E. Insarova // *Problems of ecological monitoring and ecosystem modelling*. – 1989. – Vol. XII. – P. 113–175.
4. Nimis, P. L. ITALIC 7.0. The information system on Italian lichens [Electronic resource] / P. L. Nimis, S. Martellos. – 2024. – Electronic data. – The mode of access: <http://italic.units.it/index.php> (accessed: 10.05.2024).
5. Ecological map of the Moscow region [Electronic resource]. – 2007–2023. – Electronic data. – The mode of access: <https://www.kvartirazamkad.ru/envmap> (accessed: 10.05.2024).

ЛИШАЙНИКИ КАК ОБЪЕКТ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Л.М. Шапошникова¹, Н.Г. Рачкова¹, В.М. Гляд¹, Т.Н. Пыстина¹, Т.В. Дьячкова²,
Ю.М. Богомолова², Е.В. Таранкова¹

¹Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

²ФГБУ Государственный заповедник «Ненецкий», 166002, г. Нарьян-Мар, ул. Заводская, д. 2
e-mail: shaposhnikova.l.m@ib.komisc.ru

LICHENS AS AN OBJECT OF RADIOECOLOGICAL MONITORING OF THE NORTHERN AND ARCTIC TERRITORIES OF THE EUROPEAN NORTHEAST OF RUSSIA

L.M. Shaposhnikova¹, N.G. Rachkova¹, V.M. Glyad¹, T.N. Pystina¹, T.V. Dyachkova²,
Yu.M. Bogomolova², E.V. Tarankova¹

¹Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia

²Nenetsky Nature Reserve, 2 Zavodskaya St., Naryan-Mar, 166002 Russia
e-mail: shaposhnikova.l.m@ib.komisc.ru

Тяжелые естественные радионуклиды являются природными компонентами почв и материнских пород. Под воздействием природных и антропогенных факторов они мигрируют в биосфере и могут накапливаться в различных компонентах экосистем. Особый интерес вызывают радионуклиды ²¹⁰Po и ²¹⁰Pb. Образующиеся в результате распада инертного газа

^{222}Rn , они поглощаются аэрозолями в воздухе и возвращаются на поверхность Земли в виде сухих и влажных выпадений. Лишайники представляют собой медленно растущие организмы с высоким потенциалом улавливания аэрозолей и содержат более высокие удельные активности (УА) ^{210}Po и ^{210}Pb , чем сосудистые растения [1]. Такая способность обуславливает их широкое использование в качестве биоиндикаторов радиоактивных загрязнений. В современный высокотехнологичный век задача биоиндикации и биомониторинга сохранила свою актуальность прежде всего для северных и арктических районов. Они характеризуются активной разработкой месторождений углеводородов, что является источником загрязнения окружающей среды радионуклидами [2]. Наряду с этим для российского Севера не потеряли остроту задачи биомониторинга территорий негативного наследия промышленной деятельности общества. Так, в Республике Коми (РК) до конца не решены экологические последствия добычи радия в 1930-50-ых гг. из пластовых вод нефтяных месторождений [3]. Этот радионуклид, как и ^{222}Rn , является предшественником ^{210}Po и ^{210}Pb .

Нами исследовано содержание ^{210}Po и ^{210}Pb в талломах лишайников из родов *Usnea*, *Bryoria* и *Cladonia* из подзон средней и северной тайги РК, в том числе с радиоактивным загрязнением, а также родов *Cladonia*, *Bryoria*, *Flavocetraria* и *Stereocaulon* из Большеземельской и Малоземельской тундры Ненецкого автономного округа (НАО) (территория заповедника «Ненецкий»). Всего исследовано 85 образцов, собранных летом 2021 г. (РК) и 2023 г. (НАО). Измерения УА ^{210}Po и ^{210}Pb проводили радиометрическим методом [3].

Самые низкие УА ^{210}Po и ^{210}Pb были получены для лишайников Большеземельской и Малоземельской тундры, что указывает на относительно спокойную радиэкологическую обстановку на данной территории в отношении радионуклидов уранового ряда. В лишайниках таежной зоны их концентрации были выше. Наибольшие УА ^{210}Po и ^{210}Pb наблюдались в лишайниках, собранных на участках, подверженных влиянию бывшего радиового производства. Здесь в талломах лишайника *Cladonia* УА ^{210}Po от 2 до 6 раз, ^{210}Pb от 2 до 4 раз превышали концентрации радионуклидов в лишайнике из других районов исследования. То же касается эпифитных лишайников *Bryoria* и *Usnea*, хотя здесь превышения были ниже (табл.).

Таблица

Удельная активность ^{210}Po и ^{210}Pb в лишайниках, (в расчете на воздушно сухую массу)

| Район исследования | Род | n | ^{210}Po , Бк/кг | ^{210}Pb , Бк/кг |
|---|----------------------|----|---------------------------|---------------------------|
| Большеземельская тундра НАО | <i>Cladonia</i> | 4 | 40.9±5.9 | 121±18.2 |
| | <i>Bryoria</i> | 1 | 70.8±10.6 | 225±33.9 |
| Малоземельская тундра НАО | <i>Cladonia</i> | 12 | 50.2±7.5 | 104±15.6 |
| | <i>Flavocetraria</i> | 3 | 72.5±10.9 | 150±22.5 |
| | <i>Stereocaulon</i> | 1 | 88.0±13.2 | 128±19.3 |
| Средняя тайга РК | <i>Usnea</i> | 7 | 150±30.2 | 200±24.8 |
| | <i>Bryoria</i> | 5 | 200±33.5 | 257±52.2 |
| | <i>Cladonia</i> | 4 | 82.3±8.40 | 122±8.7 |
| Северная тайга РК | <i>Usnea</i> | 7 | 200±27.8 | 292±42.7 |
| | <i>Bryoria</i> | 21 | 197±25.3 | 250±25.6 |
| | <i>Cladonia</i> | 8 | 118±11.8 | 206±16.3 |
| Северная тайга РК – зона с радиоактивным загрязнением | <i>Usnea</i> | 4 | 352±41.3 | 282±23.1 |
| | <i>Bryoria</i> | 4 | 305±70.6 | 342±51.3 |
| | <i>Cladonia</i> | 4 | 246±10.9 | 381±43.8 |

Примечание: n – количество образцов; x – среднее значение; SD – стандартное отклонение.

Выявлены различия в накоплении радионуклидов лишайниками разных родов и эколого-субстратных групп. В тундровой зоне аккумуляция лишайниками родов *Bryoria*, *Flavocetraria* и *Stereocaulon* была выше, чем у *Cladonia*. В зоне тайги эпифиты *Bryoria* и *Usnea* также содержали ^{210}Po и ^{210}Pb в более высоких концентрациях, чем *Cladonia*. Однако на уча-

стках с радиоактивным загрязнением разница между накоплением ^{210}Po лишайниками этих родов была менее существенна, а в отношении аккумуляции ими ^{210}Pb достоверных различий не наблюдали. Данные различия могут быть связаны как с особенностями строения лишайников, так и со спецификой субстрата их произрастания. Полученные результаты указывают на возможность использования изученных лишайников в биоиндикации районов с повышенными концентрациями природных радионуклидов в таежной и тундровой зонах.

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетной темы ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600024-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Persson, B. R. R. Polonium-210 and lead-210 in the terrestrial environment: A historical review / B. R. R. Persson, E. Holm // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2011. – Vol. 102. – P. 420–429.
2. Yakovlev, E. Assessing the natural and anthropogenic radionuclide activities of the Pechora River estuary: Bottom sediments and water (Arctic Ocean Basin) / E. Yakovlev, A. Puchkov, V. Bykov // *Mar Pollut Bull.* – 2021. – Vol. 172. – 112765.
3. Shaposhnikova, L.M. Bioaccumulation and retention of Po-210 and Pb-210 in two species of mosses from the zone of influence of the former radium-extracting plants / L.M. Shaposhnikova, N.G. Rachkova, T.P. Shubina // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2023. – Vol. 30. – P. 34966–34977.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИШАЙНИКА *PELTIGERA APHTHOSA* И ИЗОЛИРОВАННОГО ФИКОБИОНТА ПРИ УФ-В СТРЕССЕ

М.А. Шелякин, И.Г. Захожий, Р.В. Малышев, Е.В. Силина

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
e-mail: shelyakin@ib.komisc.ru*

PHOTOSYNTHETIC PARAMETERS OF LICHEN *PELTIGERA APHTHOSA* AND ISOLATED PHYCOBIONT UNDER UV-B STRESS

M.A. Shelyakin, I.G. Zakhozhiy, R.V. Malyshev, E.V. Silina

*Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982 Russia
e-mail: shelyakin@ib.komisc.ru*

Лишайники – сложная симбиотическая ассоциация гриба (микобионт) с зелеными водорослями и/или цианобактериями (фотобионт). В воздушно-сухом состоянии лишайники способны переносить воздействие крайне высоких доз ультрафиолетовой радиации (УФ) в течение многих месяцев. У гидратированных, функционально активных талломах высокоэнергетическое УФ излучение, даже в умеренных дозах, может приводить к негативным последствиям для симбионтов. При этом о механизмах адаптации фотобионта, направленных на сохранение фотосинтетической активности, как ключевого процесса жизнеобеспечения лишайников, накоплены фрагментарные знания [1].

Peltigera apthosa (L.) Willd. – трехкомпонентный лишайник. Основным фотобионтом является зеленая водоросль рода *Coccoloba*, вторичным – цианопрокариоты рода *Nostoc*. Тундрово-таежный вид Северного полушария, широко распространен в бореальной зоне европейской части России, где зачастую приурочен к затененным и увлажненным местам обитания. Сбор талломов проводили в среднетаежной подзоне Республики Коми. Образцы слоевищ отбирали с растительных остатков или мха на поверхности почвы в смешанном сосново-еловом лесу. Адаптированные в климатической камере при освещенности около

100 мкмоль/м²с (фотопериод 12 ч), температуре воздуха 15 °С и периодическом увлажнении талломы лишайников подвергали действию УФ-В радиации (2 Вт/м²) в течение 120 мин. на протяжении 10 суток. Показатели функциональной активности талломов и изолированных из слоевищ клеток фотобионта измеряли на 3, 7 и 10 сутки после облучения и спустя 4 и 7 суток после прекращения воздействия. Полученная лишайниками доза УФ-В составляла 43, 101 и 144 кДж, соответственно. Талломы контрольного варианта не подвергались воздействию УФ. Клетки зеленых водорослей из слоевищ *P. aphthosa* выделяли методом дифференциального центрифугирования в градиенте сахарозы [2]. Изоляцию фотобионта из талломов проводили сразу после их экспозиции под УФ-В лампами. Экстракцию фотосинтетических пигментов проводили из лиофильно высушенного материала смесью ДМСО-Ацетон в соотношении 2:1 [3], содержание пигментов определяли спектрофотометрически. Показатели индуцированной флуоресценции хлорофилла ФСII измеряли на флуориметре «РАМ 2100» при освещенности 100 мкмоль/м²с. Параметры фотосинтеза талломов измеряли по интенсивности СО₂-газообмена на ИК-газоанализаторе «Li-7000», у суспензии фотобионта по скорости поглощения и выделения О₂ в темноте и на свету, соответственно, используя полярографическую систему «Oxytherm». Измерения проводили в диапазоне освещенности от 0 до 200 мкмоль/м²с.

В контрольном варианте содержание хлорофиллов и каротиноидов в талломах *P. aphthosa* составляло 2.0 и 0.4 мг/г, в клетках фикобионта – 21.4 и 4.4 мг/г, соответственно. УФ-В облучение не повлияло на содержание фотосинтетических пигментов в талломах. В клетках фотобионта на 10 сутки облучения отмечали тенденцию к снижению содержания хлорофиллов. УФ-В облучение не оказало достоверного влияния на значения максимального (F_v/F_m) и реального (Φ_{PSII}) квантового выхода ФСII как талломов, так и изолированной водоросли. Величины коэффициента фотохимического тушения (qP) также были стабильными (не ниже 0.8 отн. ед.). На 7 и 10 сутки облучения у талломов в опыте отмечали увеличение значений коэффициента нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (NPQ) в 1.6 и 2.2 раза по сравнению с контролем, соответственно. Для изолированного фотобионта увеличение NPQ в 1.2 раза отмечали только на 10 сутки опыта. После окончания воздействия УФ-В выявленный эффект нивелировался. Полученные данные свидетельствуют об активации тепловой энергодиссипации в ФСII фотобионта, что может быть связано с конверсией пигментов виолаксантинового цикла. Можно полагать, что адаптивную реакцию проявлял только верхний слой клеток фотобионта в талломе.

В контроле интенсивность нетто-поглощения СО₂ у талломов *P. aphthosa* достигала максимальных значений при освещенности 200 мкмоль/м² и составляла в среднем 1.1 мг СО₂/(г сухой массы ч). Величина gross-фотосинтеза равнялась 1.8 мг СО₂/(г сухой массы ч), а доля темнового дыхания составляла около 40 % величины gross-фотосинтеза. Переход талломов к положительному СО₂-газообмену происходил при освещенности около 50 мкмоль/м² с. У изолированного фотобионта максимум интенсивности выделения О₂ на свету также наблюдали при 200 мкмоль/м² с. Он составлял около 1000 нмоль О₂/(г сухой массы мин), что эквивалентно 2.7 мг СО₂/(г сухой массы ч). При этом доля дыхания в gross-фотосинтезе фотобионта достигала 60 %. К выделению О₂ на свету клетки фотобионта переходили при 100 мкмоль /м² с. Результаты демонстрируют негативное влияние нарушения симбиотических взаимосвязей грибного и водорослевого компонентов лишайника на фотосинтез фотобионта. Важно отметить, что УФ-В облучение не оказало значимого влияния на показатели СО₂-газообмена талломов. При этом у клеток фотобионта на 3 сутки опыта происходило усиление выделения О₂ на свету, а на 10 сутки скорость фотосинтеза снизилась более чем на 30 % относительно контроля, тогда как доля дыхания увеличилась в среднем на 10 %. Это указывает на подавление УФ-В активности кислород-выделяющего комплекса. Известно, что Mn-содержащий комплекс окисления воды является первичной мишенью среди компонентов ФСII [4].

Таким образом, в ходе исследования удалось выявить, что в целом, при нахождении в составе лишайника фотосинтетический аппарат фотобионта *P. aphthosa* устойчив к действию

сравнительно высоких доз УФ-В радиации на уровне световых и темновых реакций. Экспозиция слоевищ к УФ-В излучению приводит к снижению содержания хлорофиллов в клетках фикобионта, что хорошо прослеживается на изолированной водоросли, но затруднительно для количественной оценки в случае анализа пигментов в талломах. Адаптивное повышение тепловой энергодиссипации ФСII вероятно происходит в верхних слоях клеток фотобионта, наиболее близких к источнику УФ. Показано подавление скорости выделения O₂ клетками фотобионта на свету при действии высокой дозы УФ-В. Полученные данные свидетельствуют о необходимости дифференциальной оценки функциональной активности клеток фотобионта в зависимости от их пространственного положения в альгальном слое слоевищ.

Работа выполнена по теме НИР № 122040600021-4 за счет средств федерального бюджета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Photoprotection in lichens: adaptations of photobionts to high light / R. P. Beckett, F. Minibayeva, K. A. Solhaug, T. Roach // *The Lichenologist*. – 2021. – Vol. 53, N 1. – P. 21–33. – DOI: 10.1017/S0024282920000535
2. Котлова, Е. Р. О возможной роли каротиноидов в адаптации зеленых водорослей и цианобактерий к существованию в условиях лишайникового симбиоза / Е. Р. Котлова // *Ботанический журнал*. – 2000. – Т. 85, № 9. – С. 103–114.
3. Дымова, О. В. Оптимизация способа экстракции фотосинтетических пигментов и их содержание в талломах лишайников / О. В. Дымова, О. А. Кузиванова // *Химия растительного сырья*. – 2018. – № 2. – С. 137–144. – DOI: 10.14258/jcprm.2018023013
4. Kataria, S. Impact of increasing Ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic processes / S. Kataria, A. Jajoo, K. N. Guruprasad // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. – 2014. – Vol. 137. – P. 55–66. – DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2014.02.004.

РЕЗОЛЮЦИЯ**Международной конференции «Лишайники: от молекул до экосистем»**

С 01 по 05 июля 2024 г. в г. Сыктывкаре (Республика Коми) состоялась Международная конференция «Лишайники: от молекул до экосистем (Lichens: from molecules to ecosystems)». Инициатором ее проведения является Институт биологии ФИЦ «Коми НЦ УрО РАН». Соучредителями выступили Коми отделение Русского ботанического общества и Коми отделение Общества физиологов растений России.

На конференции собрались специалисты-лихенологи более чем 50 научных организаций и вузов России и дружественных стран (Беларусь, Казахстан, ЮАР, Сирия) для обсуждения актуальных проблем таксономии, биологии и экологии лишайников. Общее число специалистов, принявших очное и заочное участие в работе конференции, составило 131 человек. Заслушано 58 докладов, в том числе, 3 пленарные лекции и 6 пленарных доклада.

Во время конференции рассмотрен широкий круг вопросов, касающихся биологического разнообразия и распространения лишайников, их функциональной активности, накопления продуктов первичного и вторичного метаболизма, взаимодействия фото- и микобионта, влияния природно-климатических и антропогенных факторов на процессы жизнедеятельности. Особое внимание было уделено анализу таксономической структуры лишайнобиот различных регионов России и сопредельных территорий, обсуждению принципов ведения лихенологических разделов Красной книги, выявлению, изучению и охране редких и исчезающих видов лишайников. Большой интерес вызвали вопросы применения молекулярно-генетических методов в изучении видового разнообразия различных таксонов. Рассмотрены достижения в изучении функциональных свойств и продуктов метаболизма лишайников, их реакции на климатические изменения и воздействие антропогенных факторов. Специалисты делились опытом оцифровки ботанических коллекций и создания электронных каталогов для ведения базы данных коллекций лишайников. Был проведен «круглый стол» по проблемам подготовки научных кадров для лихенологических исследований, вопросам распространения и популяризации знаний о лишайниках с акцентом на сохранение местообитаний редких и уязвимых видов. В рамках конференции организована научная полевая экскурсия в федеральный заказник «Параськины озера».

Участники конференции отметили, что, несмотря на возрастающий интерес к изучению разнообразия, биологии и экологических особенностей лишайников, существуют значительные пробелы в знаниях о процессах жизнедеятельности и устойчивости этих симбиотических организмов. По-прежнему сохраняется тенденция сокращения объемов исследований не только в труднодоступных и удаленных районах Дальнего Востока и Крайнего Севера, но и в центре европейской части России. Ощутим дефицит квалифицированных специалистов-лихенологов.

Конференция рекомендует:

- 1) объединить усилия специалистов лихенологов для изучения разнообразия лишайнобиоты слабо исследованных регионов и сложных групп лишайников;
- 2) развивать лихенологические исследования с позиций современной биологии, экологии, биотехнологии и биомедицины, привлечь к участию в лихенологических исследованиях специалистов смежных научных направлений - физиологов, биохимиков, биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов;
- 3) разработать методические рекомендации по ведению лихенологических разделов Красной книги регионального и муниципального уровней на основе мониторинга состояния редких и исчезающих видов;
- 4) развивать сотрудничество и координацию исследований, обмен научной информацией и коллекционными образцами, опытом создания электронного каталога лишайников и оцифровки ботанических коллекций;

5) расширить подготовку молодых специалистов-лихенологов через магистратуру, аспирантуру, докторантуру, стажировки в ведущих научных центрах и проведение молодежных лихенологических школ;

6) издать материалы докладов в электронном виде, подготовить информацию о конференции и подать ее в журналы соответствующего профиля (Ботанический журнал, Теоретическая и прикладная экология, Известия Коми научного центра УрО РАН и др.);

7) одобрить инициативу проведения международной конференции «Лишайники: от молекул до экосистем». Провести следующую конференцию в 2027 г. на базе Горного ботанического сада Дагестанского ФИЦ РАН (г. Махачкала) и предусмотреть в рамках конференции проведение молодежной лихенологической школы.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель конференции:

Дёгтева Светлана Владимировна, член-корреспондент РАН, д.б.н, директор Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (Сыктывкар)

Заместители председателя:

1. **Головко Тамара Константиновна**, д.б.н., профессор, гл.н.с. лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар)

2. **Пыстина Татьяна Николаевна**, к.б.н., с.н.с. отдела флоры и растительности Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар)

Ответственный секретарь:

Шелякин Михаил Анатольевич, к.б.н., н.с. лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар)

Программный комитет:

Гагарина Людмила Владимировна, к.б.н., зам. директора по научной работе Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург)

Минибаева Фарида Вилевна, д.б.н., гл.н.с., руководитель лаборатории окислительно-восстановительного метаболизма Казанского института биохимии и биофизики ФИЦ «Казанский научный центр РАН» (Казань)

Мучник Евгения Эдуардовна, д.б.н., доцент, в.н.с. лаборатории экологии широколиственных лесов Института лесоведения РАН (Московская обл., с. Успенское)

Пауков Александр Геннадьевич, к.б.н., доцент кафедры биоразнообразия и биоэкологии, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина (Екатеринбург)

Сонина Анжелла Валерьевна, д.б.н., доцент, зав. кафедрой ботаники и физиологии растений Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск)

Цуриков Андрей Геннадьевич, д.б.н., доцент, профессор кафедры биологии Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины (Гомель, Республика Беларусь)

Richard Peter Beckett, Professor, PhD, School of Life Sciences, University KwaZulu-Natal (Питермарицбург, ЮАР)

Локальный оргкомитет (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар):

Дымова Ольга Васильевна

Ермолина Ксения Валерьевна

Захожий Илья Григорьевич

Кудрявцева Доминика Игоревна

Кырнышева Мария Владимировна

Мади Елена Григорьевна

Малышев Руслан Владимирович

Мигловец Михаил Николаевич

Оплеснина Надежда Альбертовна

Пунегова Валентина Ивановна

Романова Ирина Александровна

Семенова Наталия Анатольевна

Силина Екатерина Валериевна

Хохлов Роман Николаевич

Чупрова Елена Михайловна

Научное издание

ЛИШАЙНИКИ: ОТ МОЛЕКУЛ ДО ЭКОСИСТЕМ

**Материалы докладов Международной конференции
(1-5 июля 2024 г., Сыктывкар)**

Оригинал-макет – И.А. Романова

Подписано в печать 09.08.2024 г. Усл. печ. л. 7.5. Заказ № 06(24)

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28.