

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ *PHYSICIA STELLARIS* (L.) NYL. ГОРОДА СТЕРЛИТАМАК

Р.Г. Фархутдинов, В.В. Федяев, З.Р. Саитова, М.И. Гарипова, А.А. Ямалеева

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет», Уфа, Россия, frg2@mail.ru

Аннотация. Лишайники вида *Physcia stellaris* (L.) Nyl собирали в лесах окрестностей и парках г. Стерлитамака. На основании данных "розы ветров" г. Стерлитамака были установлены районы, в которые могут преимущественно поступать загрязняющие вещества. Наименьшее видовое разнообразие лишайников было установлено в г. Стерлитамак. Показано, что плотность популяции *P. stellaris* была самой низкой в г. Стерлитамак и в северо-северо-восточном направлении. Наибольшее содержание SO₃ в талломах лишайников было установлено в городе, северном и северо-северо-восточном направлении. Определение гемагглютинирующей активности (ГАА) лектинов показало увеличение их содержания в образцах собранных в городе и в северо-северо-восточном направлении. Лишайники, выросшие в условиях города, характеризовались наименьшим уровнем поглощения кислорода в процессе дыхания. Было установлено, что в условиях воздействия повышенных концентраций токсических соединений происходило повышение содержания пролина в талломах лишайников.

Ключевые слова: *Physcia stellaris* (L.) Nyl, SO₃, лектины, дыхание, пролин

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-764-768

Лишайники изучаются очень давно и активно в роли индикаторов состояния окружающей среды. Также известно, что степень угнетения ростовых показателей лишайников является маркером уровня антропогенной нагрузки [Мейсурова, Нотов, 2016]. Изучение морфологического состояния лишайников (уменьшение размеров, биомассы, площадь, количество лопастей и апотециев) является первым визуально различимым признаком, которое свидетельствует о воздействии на лишайники загрязняющих веществ [Суетина, 2001; Михайлова и др., 2015], однако большая и неконтролируемая изменчивость морфометрических признаков эпифитных лишайников рассматривается в литературе как помеха для установления особенностей онтогенеза особи в определенных экологических условиях [Суетина, Глотов, 2014]. Важную роль в адаптации лишайников к условиям местообитания играют физиолого-биохимические механизмы [Beckett et al., 2015; Matee et al., 2016].

Объектом исследования был выбран широко распространённый по всей России лишайник *Physcia stellaris* (L.) Nyl. Данный вид лишайника в природных условиях произрастает на коре с pH < 7, богатой минеральными веществами, т.е. относится к ацидофильным и нейтрофильным видам [Отнюкова и др., 2012].

Исследования проводились в период 2013-2017 гг. на территории города Стерлитамак и в 50±5 км от него по направлению основных господствующих ветров. Количество пробных площадок в каждой точке составляло 5. При определении пробной площадки (10×10 м) учитывалось следующее: схожесть древесных пород, плотность лесопосадки, близость дорог и водоемов приуроченность к рельефу, коэффициент встречаемости *P. stellaris* на исследуемой территории [Михайлова и др., 2013].

Лишайники собирали в генеративном возрасте в сухую погоду на одноствольных деревьях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) [Михайлова и др., 2013]. Собранный растительный материал сушили при комнатной температуре (22–26 °C) до воздушно-сухого состояния (10–12% воды) для прекращения активности физиологических процессов и выравнивания состояния образцов, собранных в разных условиях

произрастания. Скорость дыхания измеряли методом открытой манометрии [Рахманкулова и др., 2003], содержание свободного пролина определяли по методу Bates [Рахманкулова и др., 2015], содержание лектинов – по методике предложенной А.А. Ямалеевой [Ямалеева, 2001].

Рентгенофлуоресцентный анализ высушенных образцов лишайников на содержание в них SO_3 проводился на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре типа EDX (Schimadzy, Japan). Все эксперименты проводили не менее чем в трех биологических повторностях, физиолого-биохимические анализы – в пяти повторностях для каждого варианта. На рисунках приведены средние арифметические и их ошибки. Статистическую обработку полученных данных и построение графиков выполняли в программе Microsoft Excel.

Стерлитамак один из крупных промышленных городов России, где проявляется высокий уровень антропогенной нагрузки на растительность (индекс загрязнения атмосферы равен 9,2). Город расположен на границе трёх природно-климатических зон: южной лесостепи, предуральской степи и горной южно-уральской области. Уровень загрязнения атмосферы города определяется, главным образом, высокими концентрациями бенз(а)пирена, диоксида азота, формальдегида и взвешенных веществ [Государственный доклад..., 2015].

По данным, предоставленным «Башкирским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», в городе Стерлитамак в период 2013-2017 гг. преобладали ветра юго-юго-западного, южного и северного направлений (рис. 1).

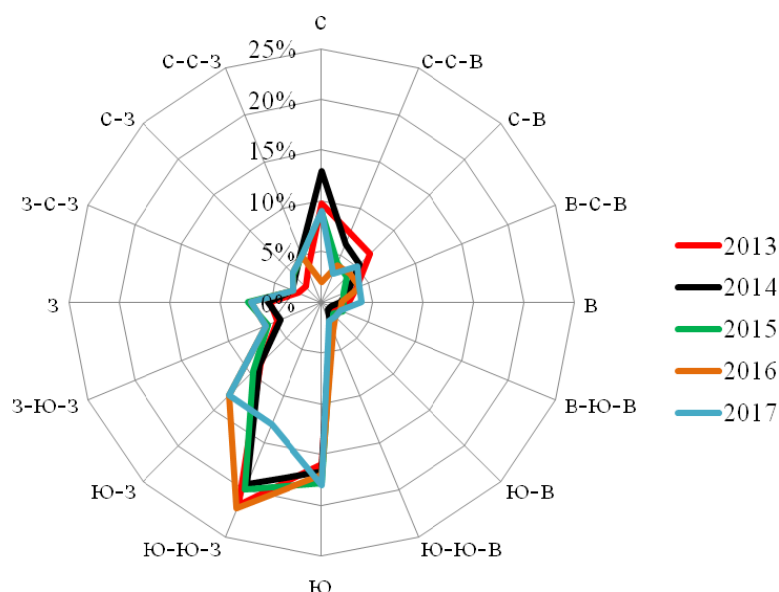


Рисунок. Роза ветров в 2013–2017 гг. в Стерлитамак.

Как видно из рисунка основное движение воздушных масс осуществляется в основном в направлении: северо-северо-восток (ССВ), север (С) и юг (Ю). Основное поступление воздушных масс было из юго-юго-запад (ЮЮЗ). Следовательно, перенос газовых и аэрозольных выбросов от стационарных источников загрязнения и от транспортных средств города Стерлитамак осуществляется в направлениях (ССВ), север (С) и юг (Ю) (рис. 1).

Фенотипический и генотипический состав популяции лишайников зависит от условий окружающей среды [Суетина, 2001]. Наиболее распространённым в лишеноиндикации является анализ видового разнообразия, насыщенности и плотности популяции лишайников.

Как видно из табл. 1, видовое богатство лишайников исследованных площадок колеблется от 6 до 14 видов, наименьшее число видов было обнаружено непосредственно в г. Стерлитамаке в Ю направлении, а наибольшее в ЮЮЗ направлении. Из ЮЮЗ поступали доминирующие ветра, и там отсутствуют большие загрязнители воздуха. Плотность популяции *P. stellaris* снижена на территории города, на С, ССВ и Ю направлении от г. Стерлитамака, что говорит о влиянии окружающей среды на лишайники данных популяций (табл. 1).

Таблица 1.
Характеристика лишайникового покрова в г. Стерлитамак и в направлениях доминирующего движения ветра и содержание SO₃ в талломах лишайников *P. stellaris*

Параметр	Город	С	ССВ	Ю	ЮЮЗ
Общее видовое богатство	6	11	10	8	14
Плотность популяций, экз./ствол	38±11,1	46,6±7,5	34,2±9,1	39,2±6,1	60,3±6,5
Содержание SO ₃ , % массы	1,81±0,15	1,78±0,1	1,88±0,12	1,63±0,04	1,25±0,05

Лишайники поглощают аэрозоли и газы всей поверхностью талломов, что также повышает их чувствительность к загрязнению, это приводит к росту концентрации макро- и микроэлементов в талломах [Табаленкова и др., 2016]. Известно, что накопление серы в талломах лишайников оказывает негативное влияние на рост и развитие лишайников [Ковалева, Иванова, 2012]. Как видно из таблицы 1 в образцах, собранных в городе и на С, ССВ, Ю, наблюдается максимальное накопление оксида серы (VI). Как правило, по мере повышения уровня загрязненности можно наблюдать уменьшение интенсивности фотосинтеза и, наоборот, увеличение дыхательной способности [Домнина и др., 2007]. Отношение дыхательной способности лишайников к потенциальной интенсивности фотосинтеза в большинстве случаев возрастает, а иногда и превышает контрольный уровень в 2–3 раза [Домнина и др., 2007].

Таблица 2.
Гемагглютинирующая активность (ГАА) лектинов, скорость дыхания и содержание пролина в лишайниках *P. stellaris*

№	Наименование места сбора материала	ГАА лектинов	Скорость дыхания, мкл O ₂ / грамм × час	Содержание пролина, мг / грамм сухой массы
1.	Город	8	373,76±40,58	4,26±0,15
2.	Север	4	760,92±47,89	4,13±0,43
3.	Север северо-восток	8	814,49±41,39	3,82±0,25
4.	Юг	4	782,83±38,15	3,76±0,33
5.	Юг юго-запад	4	549,08±25,97	2,89±0,13

По данным литературы, на воздействие различных поллютантов лишайники реагируют накоплением свободного пролина [Baskor et al., 2004; Das et al., 2011], что, таким образом, может служить одним из индикаторов стресса. Нами также показано повышение содержания пролина в талломах лишайников, произрастающих в условиях воздействия повышенных концентраций токсических соединений. Наименьший уровень накопления пролина обнаружен в образцах, собранных на ЮЮЗ, наиболее высокий – в городе (табл. 2).

Однако измерение скорости дыхания показало, что лишайники, выросшие в условиях города, характеризовались наименьшим уровнем поглощения кислорода, в то время как образцы, собранные на ЮЮЗ, показывали более высокую скорость дыхания (табл. 2). Можно предположить, что в условиях города лишайники подвергались воздействию комплекса повреждающих факторов, приводивших к ингибированию суммарного дыхания. В то же время, образцы собранные в направлениях С, ССВ и Ю, обладали наиболее высокой скоростью потребления кислорода. Полученные результаты предполагают дальнейшее детальное изучение дыхательного обмена лишайников, произрастающих в условиях с различной интенсивностью антропогенного воздействия.

Определение содержания лектинов в талломах лишайников росших в условиях города и ССВ показало на рост ГА (табл. 2). Известно, что при воздействии неблагоприятных условий наблюдается значительное увеличение лектиновой активности, что связывают со стабилизирующей, адаптогенной ролью лектинов [Цивилева и др., 2005].

Таким образом, рост лишайников *P. stellaris* в различных и экологических условиях сопровождается рядом изменений в активности физиолого-биохимических процессов, которые, в свою очередь, приводят к формированию определенных морфометрических параметров лишайников. Оценка только внешних ростовых показателей недостаточна при проведении лишеноиндикации.

Литература

Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2014 году. – Уфа: Минэкологии РБ, 2015. – 326 с.

Домнина Е.А., Шапиро И.А., Быков О.Д. Изменение фотосинтеза и дыхания лишайников в районе Кирово-Чепецкого химического комбината // Ботанический журнал. – 2007. – Т. 92, № 4. – С. 515–523.

Ковалева Н.М., Иванова Г.А. Особенности распределения биомассы эпифитных лишайников на сосне обыкновенной (нижнее Приангарье) // Сибирский экологический журнал. – 2012. – Т. 19, № 3. – С. 429–433.

Мейсурова А.Ф., Нотов А.А. Содержание металлов в лишайниках на особо охраняемых природных территориях, сопряженных с урбоэкосистемами // Журнал прикладной спектроскопии. – 2016. – Т. 83, № 5. – С. 794–802.

Михайлова В.А., Сайтова З.Р., Фархутдинов Р.Г. Особенности видового состава лишенобиоты Башкортостана // Вестник Башкирского университета. – 2013. – Т. 18, № 2. – С. 392–394.

Михайлова И.Н., Микрюков В.С., Фролов И.В. Состояние сообществ эпифитных лишайников в условиях антропогенных нагрузок: влияние методов учета обилия на информативность показателей // Экология. – 2015. – № 6. – С. 427–433.

Отнюкова Т.Н., Жижаяев А.М., Кутафьева Н.П., Дутбаева А.Т. Макромицеты как биоиндикаторы загрязнения окружающей среды территории г. Красноярска и его окрестностей // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2012. – № 11. – С. 101–113.

Рахманкулова З.Ф., Федяев В.В., Подашевка О.А., Усманов И.Ю. Альтернативные пути дыхания и вторичный метаболизм у растений с разными типами адаптивных стратегий при дефиците элементов минерального питания // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 2. – С. 231–237.

Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Щербаков А.В., Федяев В.В., Биктимерова Г.Я., Хафизова Р.Р., Усманов И.Ю. Содержание пролина и флавоноидов в побегах

галофитов, произрастающих на территории Южного Урала // Физиология растений. – 2015. – Т. 62, № 1. – С. 79–88.

Суетина Ю.Г. Онтогенез и структура популяции *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. в различных экологических условиях // Экология. – 2001. – № 3. – С. 203–208.

Суетина Ю.Г., Глотов Н.В. Изменчивость признаков в онтогенезе эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. // Онтогенез. – 2014. – Т. 45, № 3. – С. 201–206.

Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В., Головки Т.К. Элементный состав биомассы некоторых видов лишайников бореальной зоны на европейском северо-востоке // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 221–225.

Цивилева О.М., Никитина В.Е., Гарибова Л.В. Влияние состава среды культивирования на активность внеклеточных лектинов *Lentinus edodes* // Прикладная биохимия и микробиология. – 2005. – Т. 41, № 2. – С. 200–203.

Ямалева А.А. Лектины растений и их биологическая роль. – Уфа. Изд-во Башкир. ун-та, 2001. – 204 с.

Backor M., Fahselt D., Wu C.T. Free proline content is positively correlated with copper tolerance of the lichen photobiont *Trebouxia erici* (Chlorophyta) // Plant Science. – 2004. – V. 167. – P. 151–157.

Beckett R.P., Ntombela N., Scott E., Gurjanov O.P., Minibayeva F.V., Liers C. Role of laccases and peroxidases in saprotrophic activities in the lichen *Usnea Undulata* // Fungal Ecology. – 2015. – V. 14. – P. 71–78.

Das K., Dey U., Bhaumik R., Datta J.K., Mondal N.K. A comparative study of lichen biochemistry and air pollution status of urban, semi urban and industrial area of Hooghly and Burdwan district, West Bengal // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. – 2011. – V. 7, No. 4. – P. 311–323.

Matee L.P., Beckett R.P., Solhaug K.A., Minibayeva F.V. Characterization and role of tyrosinases in the lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) // The Lichenologist. – 2016. – V. 48, No. 4. – P. 311–322.

PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL FEATURES OF POPULATIONS OF *PHYSICIA STELLARIS* (L.) NUL. OF STERLITAMAK CITY

R.G. Farkhutdinov, V.V. Fedyayev, Z.R. Saitova, M.I. Garipova, A.A. Yamaleeva

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State University», Ufa, Russia, frg2@mail.ru

Abstract. Lichens of the *Physcia stellaris* (L.) Nyl species were collected in the forests of the surroundings and parks of the Sterlitamak city. According to the "wind rose" in Sterlitamak areas with predominant entering of pollutants were established. The lowest species diversity of lichens was found in Sterlitamak. It is shown that the population density of *P. stellaris* was the lowest in Sterlitamak and in the north-north-east direction. The highest content of SO₃ in lichen thalli was established in the city, north and north-north-east directions. The determination of lectin hemagglutinating activity (GAA) showed an increasing of their content in samples collected in the city and in the north-north-east direction. Lichens grown in urban conditions were characterized by the lowest level of oxygen consumption during respiration. Increased proline content in lichen thalli was occurred under conditions of high concentrations of toxic compounds.

Keywords: *Physciastellaris* (L.) Nyl, SO₃, lectins, respiration, proline