

И.В. Пушкина, А.Ф. Мейсурова
I.V. Pushkina, A.F. Meysurova
Тверской государственной университет
Tver State University

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ПИГМЕНТОВ
У ЭПИФИТНЫХ ВИДОВ МХОВ И ЛИШАЙНИКОВ
В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ Г. ТОРЖКА)
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTENT OF
PIGMENTS IN EPIPHYTE SPECIES OF MOSSES AND LICHES
IN URBAN CONDITIONS (BY THE EXAMPLE OF THE CITY
OF TORZHOK)**

Аннотация. В пределах таксономических групп между видами обнаружены сходные значения суммарного содержания пигментов (Хл *a* + Хл *b*), соотношений средних концентраций хлорофиллов *a/b*, среднего содержания хлорофиллов (Хл *a* + Хл *b*) отдельно. Градиент изменения концентраций Хл *a* отражает разный уровень загрязнения воздушной среды; Хл *b* – различия в уровне освещения местообитаний. Сопоставление данных о содержании Хл *a* в зависимости от места сбора показало, что изученные виды мхов и лишайников можно использовать в биомониторинге загрязнения воздушной среды. Однако в пределах таксономических групп изученные виды по-разному реагируют на качественный состав загрязнения воздуха: мхи, прежде всего, на загрязнение воздуха от автотранспорта; лишайники – на загрязнение воздуха, как от промышленных предприятий, так и от автотранспорта.

Ключевые слова: биоиндикация, эпифитные виды, *Hyrogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Lescea polycarpa*, *Lewinskya speciosa*, загрязнение, пигменты, Торжок, Тверская область, поллютанты.

Abstract. Within the taxonomic groups, similar values of the total pigment content (Cl *a* + Cl *b*), the ratio of the average concentrations of chlorophylls *a/b*, the average content of chlorophylls (Cl *a* + Cl *b*) separately were found between the species. The gradient of changes in concentrations of Cl *a* reflects different levels of air pollution; Cl *b* – differences in the level of illumination of habitats. Comparison of data on the content of Cl *a* depending on the collection site showed that the

studied species of mosses and lichens can be used in biomonitoring of air pollution. However, within the taxonomic groups, the studied species react differently to the qualitative composition of air pollution: mosses, first of all, to air pollution from motor vehicles; lichens - to air pollution, both from industrial enterprises and from motor vehicles.

Key words: bioindication, epiphytic species, Hypogymnia physodes, Parmelia sulcata, Leskea polycarpa, Lewinskya speciosa, pollution, pigments, Torzhok, Tver region, pollutants.

Для оценки состояния окружающей среды активно используют биоиндикацию, суть которой состоит в изучении реакции определенных групп организмов, чувствительных к воздействию поллютантов, на происходящее в экосистемах изменения [Nikodemus O., 2004; Лавриненко О.В., 2001; Ляшенко О.А., 2012]. Среди индикаторных видов в мониторинге широко применяют разные виды эпифитных мхов и лишайников, используя информацию о их видовом составе, анатомо-морфологических и физиолого-биохимических изменениях [Боженко Н.П., 2017; Борисенко А.Л., 2010; Ерофеева И.А., 2014; Пунгин А.В., 2018]. Лихено- и бриоиндикационные оценки состояния воздушной среды проводилась во многих городах и населенных пунктах, в том числе Тверской области [Мейсурова А.Ф., 2014; Мейсурова А.Ф., 2012; Савватеева О.А., 2015]. Однако сравнительные исследования биоиндикационных возможностей видов, относящихся к разным таксономическим группам, недостаточны [Нотов А.А., 2011; Рогова Н.С., 2011]. В качестве модельной территории целесообразно использовать г. Торжок, где ранее проводились экологические исследования природных компонентов и живых объектов, широко распространены рекреационные зоны, а также имеется хорошо развитая промышленная инфраструктура [Мейсурова А.Ф., 2014].

В этой связи, цель нашей работы – сравнить содержание пигментов у некоторых эпифитных видов мхов и лишайников, собранных в местах с разным уровнем антропогенной нагрузки. Задачи работы: определить сеть пунктов отбора образцов на основе анализа данных литературы; провести пигментный анализ собранных образцов мхов и лишайников; оценить индикаторные возможности видов в мониторинговых исследованиях.

Методика исследований. Объектами исследования служили четыре широко распространенных эпифитных видов мхов (*Leskea polycarpa* Hedw, *Lewinskya speciosa* (Nees) F. Lara, Garilleti & Goffinet) и лишайников (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Parmelia sulcata* Tayl.) [Голубкова Н.С., 1966; Мейсурова А.Ф., 2014]. Сбор образцов эпифитных видов мхов и лишайников провели весной 2022 г. в г. Торжке. Пунктами отбора образцов служили различные рекреационные зоны (РЗ) (парки, скверы, отдельные древесные насаждения), которые расположены на разном удалении от промышленных объектов и крупных магистралей с интенсивным движением автотранспорта (Табл. 1).

Табл. 1

Характеристика пунктов отбора (ПО 1–6) образцов эпифитных видов мхов и лишайников в г. Торжке

N/N	Название	Координаты	Источники загрязнения
1	ДН по ул. Энергетиков	57.066900 с.ш. 34.996104 в.д.	<i>энергетическая отрасль</i> : РЭС, филиал ПАО «МРСК Центра» - «Тверьэнерго»; <i>нефтехимическая</i> : ООО «Шелл Нефть», ООО «Сбытовое объединение «Тверьнефтепродукт»; автотранспорт (выезд на федеральную трассу М10)
2	Митинский лесопарк	57.079343 с.ш. 34.988306 в.д.	<i>машиностроение</i> и <i>металлообработка</i> : ООО «Ритм»; автотранспорт (выезд на федеральную трассу М10)
3	ДН по ул. Энгельса	57.055209 с.ш. 35.000872 в.д.	автотранспорт (выезд на федеральную трассу М10)
4	ДН около Вагоностроительного завода	57.049328 с.ш. 34.977576 в.д.	<i>машиностроение</i> : ОАО «Торжокский вагоностроительный завод»; <i>химическая</i> : ОАО «Кожгалантерейная фабрика»
5	ДН по ул. Калининское шоссе	57.024772 с.ш. 35.025462 в.д.	<i>энергетическая отрасль</i> : ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» Торжокское ЛПУМГ; автотранспорт (выезд на федеральную трассу М10)
6	Городской парк культуры и отдыха	57.039957 с.ш. 34.950965 в.д.	<i>деревообрабатывающая отрасль</i> : ООО «Талион Терра»; автотранспорт
<i>Примечание: ДН – древесные насаждения</i>			

При выборе ПО учитывали также ранее проведенные экологические исследования [12]. Общее число ПО – 6. В пределах каждого ПО 1–6 было собрано по 3–4 образца каждого из изучаемых видов. При отборе образцов фиксировали климатические параметры (температуру, влажность, освещение), а также кислотность субстрата.

Образцы мхов и лишайников доставляли в лабораторию ЦКП Тверского государственного университета для проведения пигментного анализа. Содержание пигментов (Хл *a*, Хл *b*) в образцах мхов (*L. polycarpa*, *L. speciosa*) и лишайников (*H. physodes*, *P. sulcata*) определили по стандартной методике на фотоколориметре КФК-3-ЗОМЗ (Россия) при $\lambda = 630, 645, 665$ и 750 нм [ГОСТ..., 1991; Меркушина Г.А., 2014]. В качестве экстрагента использован ацетон (80 %).

Концентрации хлорофиллов *a* и *b* рассчитали по формулам:

$$C_{\text{Хл } a} = \left(11,85 * (A_{665} - A_{750}) - 1,54 * (A_{645} - A_{750}) - 0,08 * (A_{630} - A_{750}) \right) * V_{\text{э}} / (a * l) \quad (1)$$

$$C_{\text{Хл } b} = \left(21,03 * (A_{645} - A_{750}) - 5,43 * (A_{665} - A_{750}) - 2,66 * (A_{630} - A_{750}) \right) * V_{\text{э}} / (a * l) \quad (2)$$

где: $A_{630}, A_{645}, A_{665}, A_{750}$ – оптические плотности экстракта при $\lambda = 630, 645, 665$ и 750 нм; $V_{\text{э}}$ – объем экстракта, мл; a – масса навески (г); l – длина кюветы, см.

Статистическая обработка данных и определение параметров (число проб конкретной выборки, среднее значение, коэффициенты вариации и корреляции) проведены стандартными методами математической статистики с использованием лицензионных программных продуктов Microsoft Office Excel 2013 [Мейсурова А.Ф., 2017].

Результаты и обсуждение. Пигментный анализ образцов эпифитных видов мхов и лишайников из разных РЗ города показал следующие результаты. Выяснено, что в пределах таксономических групп между видами обнаружены сходные значения суммарного содержания пигментов (Хл *a* + Хл *b*), соотношений средних концентраций хлорофиллов *a/b*, среднего содержания хлорофиллов (Хл *a* + Хл *b*) отдельно (Табл. 2).

Среднее суммарное содержание пигментов (Хл *a* + Хл *b*) в

образцах у мхов 1,61 (*L. polycarpa*) и 1,70 (*L. speciosa*); в образцах у лишайников – 0,89 (*P. sulcata*) и 0,82 (*H. physodes*). Отметим, что среднее суммарное содержание хлорофиллов (Хл *a* + Хл *b*) в образцах эпифитных мхов выше примерно в 2 раза, чем в образцах лишайников.

Табл. 2

Сравнительный анализ среднего содержания пигментов в образцах эпифитных видов мхов и лишайников в г. Торжке

№ ПО	<i>L. polycarpa</i>		<i>L. speciosa</i>		<i>P. sulcata</i>		<i>H. physodes</i>	
	Хл <i>a</i> , мг/г	Хл <i>b</i> , мг/г	Хл <i>a</i> , мг/г	Хл <i>b</i> , мг/г	Хл <i>a</i> , мг/г	Хл <i>b</i> , мг/г	Хл <i>a</i> , мг/г	Хл <i>b</i> , мг/г
1	1,59±0,14	0,63±0,12	1,61±0,14	0,64±0,12	0,72±0,14	0,15±0,12	0,72±0,14	0,15±0,12
2	1,37±0,14	0,53±0,12	1,44±0,14	0,57±0,12	0,90±0,14	0,21±0,12	0,83±0,14	0,28±0,12
3	0,72±0,14	0,25±0,12	1,18±0,14	0,46±0,12	0,62±0,14	0,13±0,12	0,31±0,14	0,09±0,12
4	1,02±0,14	0,38±0,12	1,02±0,14	0,37±0,12	0,95±0,14	0,22±0,12	0,72±0,14	0,18±0,12
5	0,63±0,14	0,21±0,12	0,48±0,14	0,16±0,12	0,45±0,14	0,09±0,12	0,52±0,14	0,17±0,12
6	1,66±0,14	0,65±0,12	1,64±0,14	0,65±0,12	0,76±0,14	0,17±0,12	0,75±0,14	0,20±0,12
Средние значения по городу	1,17	0,44	1,23	0,48	0,73	0,16	0,64	0,18
Хл <i>a+b</i>	1,61		1,70		0,89		0,82	
Хл <i>a/b</i>	2,70		2,64		4,64		3,63	

Значения соотношения средних концентраций хлорофиллов *a/b* в образцах у эпифитных видов мхов составляет 2,7 (*L. polycarpa*) и 2,64 (*L. speciosa*); в образцах у лишайников – 4,64 (*P. sulcata*) и 3,63 (*H. physodes*). Отметим, что соотношение средних концентраций хлорофиллов *a/b* в образцах мхов, наоборот, ниже примерно в 1,5 раза, чем в образцах лишайников. Самое высокое значение соотношения средних концентраций хлорофиллов *a/b* у изученных видов зарегистрировано в образцах лишайников 5,04 (*P. sulcata*).

Корреляционный анализ показал, что у мхов выявлены преимущественно сильные прямые взаимосвязи ($r \geq 0.9$) между содержанием Хл *a* и Хл *b*; у лишайников имеются, как прямые, так и обратные сильные взаимосвязи.

Сравнительный анализ содержания хлорофиллов показал, что в образцах всех изученных видов уровень содержания Хл *a* выше, чем Хл *b*. В литературе отмечено, что в естественных природных экосистемах содержание Хл *a* преимущественно выше, чем

содержание Хл *b* [2, 5]. Среднее содержание Хл *a* в образцах мхов (*L. polycarpa* – 1,17, *L. speciosa* – 1,23) выше, чем в образцах лишайников (*P. sulcata* – 0,73, *H. physodes* – 0,64). Вариабельность значений валовых концентраций Хл *a* в зависимости от места сбора у мхов выше, чем у лишайников. Наибольшая вариабельность значений валовых концентраций Хл *a* характерна для *L. speciosa* – от 0,48 до 1,64 (Табл. 2). Максимальные значения валовых концентраций Хл *a* обнаружено в образцах обоих видов мхов в ПО 6; в образцах лишайников – ПО 2 (*H. physodes*) и ПО 4 (*P. sulcata*). Так как, градиент изменения концентраций Хл *a* может отражать разный уровень загрязнения среды, можно предположить влияние загрязнения воздуха поллютантами, источником которых является автотранспорт [Мейсурова А.Ф., 2021]. Городской парк культуры и отдыха (ПО 6) расположен в самом центре г. Торжка, по окружности которого проходят дороги с интенсивным движением транспортных средств юридических и физических лиц. Близость предприятия деревообрабатывающей отрасли существенно увеличивает загруженность дорог грузовым транспортом в общем потоке в центре города (табл. 1). Пункты отбора (ПО 2, 4) образцов лишайников, где выявлены повышенные уровни содержания Хл *a*, располагаются в непосредственной близости от выезда на федеральную трассу М10, а также функционируют крупные предприятия химической и машиностроительной отраслей, увеличивающие спектр загрязняющих веществ в атмосфере.

Среднее содержание Хл *b* в образцах мхов (*L. polycarpa* – 0,44, *L. speciosa* – 0,48) выше, чем в образцах лишайников (*P. sulcata* – 0,16, *H. physodes* – 0,18). Вариабельность значений валовых концентраций Хл *b* в зависимости от места сбора у мхов выше, чем у лишайников. Амплитуда изменения значений валовых концентраций Хл *b* шире в образцах *L. speciosa* – от 0,16 до 0,65 (Табл. 2). Максимальные величины валовых концентраций Хл *b* обнаружены в образцах у обоих видов мхов в ПО 6; в образцах лишайников – ПО 2 (*H. physodes*) и 4 (*P. sulcata*).

Различия в значениях валовых концентраций Хл *b* обусловлены различными экологическими факторами, в том числе уровнем освещения. Известно, что в естественных природных фитоценозах увеличение содержания Хл *b* является компенсаторной реакцией в ответ на недостаточное освещение и

влагообеспеченность [Мейсунова А.Ф., 2017]. Вероятно, максимальные значения концентрации Хл *b* (0,65) у изученных видов мхов (*L. polycarpa*, *L. speciosa*), собранные в ПО 6 могут быть связаны с низким уровнем освещения в данном месте. В Городском парке культуры и отдыха (ПО 6) представлены лиственные деревья и кустарники (береза, клен, ясень, липа, рябина), в том числе, имеется много старовозрастных деревьев, кроны которых создают существенное затенение. Измерения уровня освещения в месте сбора образцов (ПО 6), показало низкие значения – 22,1 люкс. Минимальные величины (0,21 и 0,16 соответственно) в образцах у изученных видов мхов (*L. polycarpa*, *L. speciosa*) обнаружены в ПО 5 (древесные насаждения по ул. Калининское шоссе), где уровень освещения составил 140,5 люкс. Аналогичная тенденция обнаружена у эпифитных видов лишайников (*P. sulcata*, *H. physodes*): минимальные значения концентрации Хл *b* обнаружены в ПО 5 (древесные насаждения по ул. Калининское шоссе) и ПО 3 (древесные насаждения по ул. Энгельса), где уровень освещения составил 144,8 и 91,7 люкс соответственно.

Таким образом, фотосинтетическая система изученных видов мхов и лишайников является чувствительным параметром, который может быть использован в биомониторинге. В пределах таксономических групп между видами обнаружены сходные значения суммарного содержания пигментов (Хл *a* + Хл *b*), соотношений средних концентраций хлорофиллов *a/b*, среднего содержания хлорофиллов (Хл *a* + Хл *b*) и их отдельное содержание. Выяснено, что у мхов значения этих параметров выше, чем у изученных видов лишайников, за исключением величин соотношений средних концентраций хлорофиллов *a/b*. На примере изучаемых эпифитных видов было выявлено, что градиент изменения концентраций Хл *a* в большей степени отражает разный уровень загрязнения воздушной среды; Хл *b* – отражает различия в уровне освещения местообитаний. Установлено, что в пределах таксономических групп изученные виды по-разному отражают качественный уровень загрязнения воздуха, что связано с различиями биоиндикационных возможностей. Повышенные уровни содержания Хл *a* у изученных видов мхов выявлены в местах загрязнения воздушной среды, прежде всего, выбросами от автотранспорта; в то время как, у лишайников – в местах

расположения крупных промышленных предприятий, а также активного движения автотранспорта.

Список использованных источников

1. Андросова В.И., Марковская Е.Ф., Семенова Е.В. Фотосинтетические пигменты лишайников рода *Cladonia* скальных лесных сообществ горы Оловгора (Архангельская область) // Успехи современного естествознания. 2015. №2.

2. Боженко Н.П, Межибор А.М. Использование эпифитных мхов для оценки загрязнения окружающей среды. Томск, 2017.

3. Борисенко А.Л., Рыжакова Н.К. [и др.]. Преимущества эпифитных мхов как тест-объектов при мониторинге атмосферных загрязнений. Томск, 2010.

4. Войцехович А.А., Кашеваров Г.П. Пигменты фотосинтетического аппарата зеленых водорослей – фотобионтов лишайников // Альгология Т. 20. №3. 2010.

5. Голубкова Н.С. Определитель лишайников средней полосы европейской части СССР. М., 1966.

6. ГОСТ 17.1.4.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009756/titles>.

7. Ерофеева И.А., Сергеева И.В. Использование эпифитных лишайников в биоиндикации состояния окружающей среды // Аграрный научный журнал. Саратов, 2014.

8. Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. Химический состав растений в условиях фоновых и нефтезагрязненных территорий // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. Сыктывкар, 2001.

9. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды. Санкт-петербург, 2012.

10. Мейсунова А.Ф. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г.Твери // Вестник ТвГУ. Тверь, 2017.

11. Мейсунова А.Ф. Биомониторинг атмосферного загрязнения с использованием ИК- спектрального анализа индикаторных видов лишайников (на примере Тверской области) // Вестник ТвГУ. Тверь, 2014.

12. Мейсунова А.Ф. Эпифитные лишайники промышленных районов тверской области // Вестник ТвГУ. Тверь, 2012.

13. Мейсунова А.Ф., Борисова Е.А., Тарасова Е.М. Содержание фотосинтетических пигментов в талломах *PARMELIA SULCATA* в рекреационных зонах города Твери // Вестник ТвГУ. Тверь, 2021.

14. Меркушина Г.А., Ларина Н.С. Особенности определения фотосинтетических пигментов в торфах различного генезиса г. Тюмень // Вестник Тюменского государственного университета. Тюмень, 2014.

15. Нотов А.А. [и др.]. Аннотированный список лишенофлоры Тверской области. Тверь, 2011.

16. Пунгин А.В. Геоэкологическая оценка состояния атмосферного воздуха города Калининграда методом лишеноиндикации // Успехи современного естествознания. Калининград, 2018.

17. Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов А.Г. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнения атмосферы // Оптика атмосферы и океана. Томск, 2011.

18. Савватеева О.А., Каманина И.З., Миронова К.В. Оценка экологического состояния территории города Кашина Тверской области // Фундаментальные исследования. Дубна, 2015.

19. Nikodemus O., Brnmelis G., Tabors G., Lapina L., Pope S. Monitoring of air pollution in Latvia between 1990 and 2000 using moss // Journal of Atmospheric Chemistry. 2004.