

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МХОВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ ГОРОДА ТВЕРИ

А.Ф. Мейсунова, А.А. Суворова, Е.Ю. Бревдо
Тверской государственной университет, Тверь

Проведена сравнительная оценка содержания фотосинтетических пигментов у двух видов листостебельных мхов (*Leskea polycarpa* Hedw. и *Lewinskya speciosa* (Nees) F. Lara, Garilleti et Goffinet) в урбоэкосистемах города Твери с разным уровнем антропогенной трансформации. Эти виды имеют сходные значения основных показателей (концентрации хлорофиллов Хл *a* и Хл *b*, суммарное содержание Хл *a* и Хл *b*; соотношения концентраций хлорофиллов *a/b*). Амплитуды изменения этих величин концентраций пигментов сопряжены с разными уровнями загрязнения среды (Хл *a*) и микроклиматические условия произрастания видов (Хл *b*). Несмотря на сходные изменения в содержании пигментов, индикаторные возможности сравниваемых видов отличаются. С помощью Фурье-ИК спектрального анализа показано, что степень чувствительности к изменению химического состава воздуха у *Lewinskya speciosa* выше, чем у *Leskea polycarpa*. В ИК-спектрах образцов *Lewinskya speciosa* обнаружены изменения, связанные с накоплением алкилнитратов (R-O-NO₂), которые указывают на наличие в воздухе NO₂.

Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, мохообразные, бриоиндикация, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, *Leskea polycarpa*, *Lewinskya speciosa*, биомониторинг, Тверь.

Введение. Бриоиндикация – одно из перспективных направлений мониторинга состояния окружающей среды (Шматова, 2012; Богданова и др., 2016). Ее использовали при оценке состояния воздушной среды разными поллютантами, в том числе тяжелыми металлами (Любимов и др., 2011; Богданова и др., 2016; Злыднев, Анищенко, 2018; Баркан, Лянгузова, 2018; Алексеенок и др., 2021). Специальные исследования посвящены выявлению мониторингового потенциала мохообразных (Анищенко, 2012; Ибатуллин и др., 2013; Анищенко и др., 2017; Жалов, Амридинова, 2019; Бревдо и др., 2022). Используют разную информацию о мохообразных. Например, данные об изменении видового состава (Любимов и др., 2011; Анищенко, Сафранкова, 2013; Морозова, 2018) и анатомо-морфологических особенностях (Анищенко, 2012; Цеплая, 2022; Бревдо и др., 2022).

© Мейсунова А.Ф., Суворова А.А.,
Бревдо Е.Ю., 2022

Существенно меньше исследований, связанных с изучением физиолого-биохимических характеристик (Онофрейчук и др., 2017; Злыднев, Анищенко, 2018). Состояние фотосинтетической системы – чувствительный параметр, отражающий изменения условий среды (Онофрейчук и др., 2017). Уровень содержания фотосинтетических пигментов видоспецифичен и зависит от многих факторов (Онофрейчук и др., 2017; Злыднев, Анищенко, 2018). В этой связи особый интерес представляет исследования, связанные с изучением содержания пигментов у разных видов эпифитных мхов в городских условиях в зависимости от степени загрязнения среды и трансформации условий их местообитаний.

В качестве модельной территории для проведения подобных исследований целесообразно использовать административный центр Тверской области – г. Тверь. В городе развита промышленная инфраструктура, сеть автомагистралей, в том числе выходящими на трассы федерального значения. При этом сохранились крупные зелёные массивы в рекреационных зонах (РЗ). В городе неоднократно проводили мониторинговые исследования, получена разноплановая информация об экологическом состоянии с помощью разных методов (Мейсурова, 2015; Мейсурова, Нотов, 2016; Тихомиров, Пахомов, 2017; Цыганов, 2019; Мейсурова и др., 2021; Савинов и др., 2021).

Перспективными объектами для изучения пигментного состава являются два вида листостебельных мхов – *Leskea polycarpa* Hedw. и *Lewinskya speciosa* (Nees) F. Lara, Garilleti & Goffinet. Эти виды широко распространены в Тверской области и г. Твери (Нотов и др., 2002). Для последнего из них ранее использовали название *Orthotrichum speciosum* Nees (Lara et al., 2016; Федосов, 2018) Виды хорошо различимы морфологически. *Leskea polycarpa* имеет ползучие переплетающиеся побеги и рыхлые дерновинки (Экосистема..., 2020). Прямостоячие побеги *Lewinskya speciosa*, образуют плотную, подушковидную дерновинку (Экосистема..., 2020). Оба вида чувствительны к изменению состояния воздушной среды (Шматова, 2012).

Цель работы – сравнительный анализ уровня содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) у *Leskea polycarpa* и *Lewinskya speciosa* в урбозкосистемах г. Твери с разной степенью антропогенной трансформации. Задачи: 1) сбор образцов и определение концентраций Хл *a* и Хл *b*; 2) выяснение характера зависимости их значений концентраций от типа местообитания и уровня антропогенной трансформации; 3) оценка биоиндикаторных возможностей видов и перспектив использования в биомониторинге.

Методика. Сбор образцов *Leskea polycarpa* и *Lewinskya speciosa* провели в июне 2022 года. Пунктами отбора (ПО) материала служили РЗ, расположенные в разных районах г. Твери: памятники природы (ПП)

регионального значения, парки, скверы, древесные насаждения вдоль крупных магистралей с интенсивным движением автотранспорта (рис. 1; табл. 1). РЗ различны по площади и степени удаленности от промышленных предприятий, а также по типу растительности. Общее число МС – 10 шт. В пределах каждого ПО было собрано по три образца каждого вида. В общей сложности обработано свыше 60 проб. При сборе образцов фиксировали параметры климатических условий (температуру и влажность воздуха, освещенность), а также тип субстрата. Уровень освещенности измеряли в трехкратной повторности с помощью люксметра «МЕГЕОН-21550».

Образы изучали в лаборатории ЦКП Тверского государственного университета. Содержание пигментов (Хл *a*, Хл *b*) определяли по общепринятой методике на фотоколориметре КФК-3-ЗОМЗ (Россия) при $\lambda = 630, 647, 664$ и 750 нм (ГОСТ 17.1.4.02-90; Мейсурова и др., 2021). Для экстрагирования использовали ацетон (80%). Концентрацию Хл *a* рассчитали по формулам 1 и 2:

$$c_{xa} = 2,44 \frac{D_{664} - D_{664}^k}{D_{664}} c'_{xa} \quad (1),$$

$$c'_{xa} = (11,85D_{664} - 1,54D_{647} - 0,08D_{630}) \frac{V_э}{V_{пр} \cdot l} \quad (2),$$

где $D_{630}, D_{647}, D_{664}$ и D_{750} – оптические плотности экстракта при $\lambda = 630, 647, 664$ и 750 нм; $V_э$ – объем экстракта, см³; $V_{пр}$ – объем пробы, дм³; l – длина кюветы, см.

Концентрацию Хл *b* определили по формуле 3:

$$c_b = (21,03D_{647} - 5,43D_{664} - 2,66D_{630}) \frac{V_э}{V_{пр} \cdot l} \quad (3),$$

где $D_{630}, D_{647}, D_{664}$ и D_{750} – оптические плотности экстракта при $\lambda = 630, 647, 664$ и 750 нм; $V_э$ – объем экстракта, см³; $V_{пр}$ – объем пробы, дм³; l – длина кюветы, см.

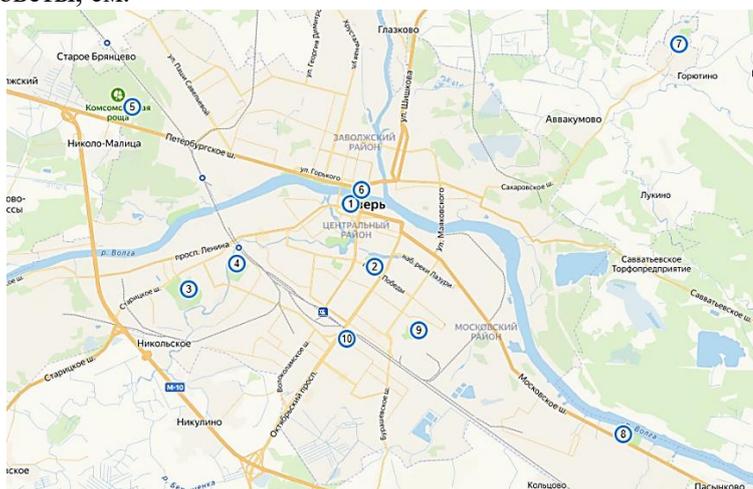


Рис. 1. Расположение пунктов отбора (ПО 1–10) образцов мхов в г. Твери

Таблица 1

Характеристика пунктов отбора (ПО 1–10) образцов *Leskea polycarpa* и *Lewinskya speciosa* в г. Твери

(по: Зудина, Мейсунова, 2017; Мейсунова и др., 2017, 2021)

№ ПО	Название ПО	Координаты		Источники загрязнения промышленность	АТ
		<i>L. polycarpa</i>	<i>L. speciosa</i>		
Центральный р-н					
1	Городской парк	6,86207с.ш., 5,9056 в.д.	6,86241 с.ш. 5,9054 в.д.	–	АТ
2	Парк Победы	6,84554с.ш. 5,9144 в.д.	6,84554 с.ш. 5,9144 в.д.	<i>лёгкая промышленность:</i> ОАО «Тверская швейная фабрика»	АТ
Пролетарский р-н					
3	Первомайская роща (ПП)	56,84194с.ш. 35,83589в.д.	56,84173 с.ш. 35,84432 в.д.	<i>энергетическая отрасль:</i> Тверская ТЭЦ-1; <i>машиностроение:</i> ОАО «Тверской завод электроаппаратуры – ЭЛТОР», ООО «Тверьстроймаш», ООО «ЖБИ-1»; <i>полиграфическая отрасль:</i> ОАО «Тверской полиграфический комбинат»	АТ
4	Парк Текстильщик	56,84852с.ш. 35,85996в.д.	56,84846 с.ш. 35,85752 в.д.	<i>энергетическая отрасль:</i> Тверская ТЭЦ-1; <i>машиностроение:</i> ООО «Текмаш-М»	АТ
Заволжский р-н					
5	Комсомольская роща (ПП)	56,88546с.ш. 35,8241 в.д.	56,88546 с.ш. 35,8241 в.д.	<i>машиностроение:</i> ОАО «Тверской вагоностроительный завод», ОАО Центросвармаш «Ритм»; <i>строительное производство:</i> ООО «Тверской ДСК»	АТ
6	Сквер на набережной А. Никитина	56,86534с.ш. 35,9086 в.д.	56,86534 с.ш. 35,9086 в.д.	–	АТ
7	Сахаровский парк (ПП)	56,90032с.ш. 36,05028в.д.	56,881 с.ш. 36,0165 в.д.	<i>производство пластмассовых и металлических изделий:</i> ООО «ЛДН-Т»	АТ
Московский р-н					
8	Березовая роща (ПП)	56,80577с.ш. 36,02541в.д.	56,80721 с.ш. 36,02686 в.д.	<i>производство металлоконструкций:</i> Технопарк АО «ДКС», ООО «БНКСталь»; <i>химическая промышленность:</i> ООО «ПОЛИПЛАСТ»	АТ
9	Бобачевская роща (ПП)	56,83022с.ш. 35,93502в.д.	56,83171 с.ш. 35,93924 в.д.	<i>энергетическая отрасль:</i> ООО «Калининский электромеханический завод», ТЭЦ-4; <i>машиностроение:</i> ОАО «Тверской экскаваторный завод»; <i>химическая промышленность:</i> ОАО «Тверьхимволокно», ОАО «Тверьхимволокно – Вискоза»	АТ
10	Южный парк	56,82873с.ш. 35,90217в.д.	56,82886 с.ш. 35,90321 в.д.	<i>пищевая промышленность:</i> Холдинг «Афанасий»; <i>энергетическая отрасль:</i> ООО «Калининский электромеханический завод»	АТ

Примечание: ПП – памятники природы; АТ – автотранспорт.

Величины оптических плотностей, используемые при расчете в формулах 1–3, выбирали с учетом поправки, равной оптической плотности при $\lambda = 750$ нм. Эта поправка вычитается из значения измеренной оптической плотности.

Статистическая обработка данных и определение параметров (средние значения концентрации хлорофиллов, их соотношения у каждого вида и между видами, коэффициенты корреляции) проведены стандартными методами математической обработки с использованием лицензионных программных продуктов Microsoft Office Excel 2013 (Мейсунова и др., 2017).

Для оценки изменений в химическом составе образцов в условиях загрязнения воздушной среды использовали Фурье-ИК спектральный анализ. Для записи ИК спектров применяли стандартную методику приготовления таблеток с бромидом калия (KBr) (Смит, 1982; Мейсунова и др., 2014; Мейсунова и др., 2021). Запись ИК-спектров образцов осуществляли на Фурье-ИК спектрометр ФМС-1202 фирмы Инфраспек в диапазоне 450–4000 см^{-1} . Повторность измерений ИК-спектров образцов каждого образца была трехкратной. Интерпретацию ИК-спектров осуществляли с помощью отечественных и зарубежных руководств по отнесению ИК полос поглощения (Наканиси, 1965; *Infrared characteristic ...*, 1994).

Результаты и обсуждение. В ходе пигментного анализа образцов получены следующие результаты (рис. 2; табл. 2). Выяснено, что у изученных видов среднее суммарное содержание пигментов (Хл *a* + Хл *b*) сходно: *Leskea polycarpa* – 4,98, *Lewinskya speciosa* – 4,91. Наибольшие значения суммарного содержания пигментов (Хл *a* + Хл *b*) выявлены в образцах из ПО 6–7, 9–10. Максимальные значения суммарного содержания пигментов (Хл *a* + Хл *b*) обнаружены в образцах из ПО 10 (*Leskea polycarpa* – 7,72, *Lewinskya speciosa* – 8,36). Корреляционный анализ показал наличие сильных прямых взаимосвязей между содержанием Хл *a* и Хл *b* в образцах обоих изученных видов ($r \geq 0.9$). Во всех образцах изученных видов среднее содержание Хл *a* выше, чем содержание Хл *b*. Значения соотношения средних концентраций хлорофиллов *a/b* у видов различаются – в образцах *Leskea polycarpa* (3,13) выше, чем в образцах *Lewinskya speciosa* (2,73). Отметим, что соотношение средних концентраций хлорофиллов *a/b* выше оптимального в 1,5–2 раза, отмеченного у мхов в других крупных городах (Злыднев и др., 2018).

Среднее содержание Хл *a* в образцах обоих видов имеет сходство: *Leskea polycarpa* – 3,67, *Lewinskya speciosa* – 3,52. Отмечена широкая вариабельность значений валовых концентраций Хл *a* в зависимости от места сбора: *Leskea polycarpa* – от 1,87 до 5,27, *Lewinskya speciosa* – от 1,52 до 5,81 (табл. 2). В образцах *Leskea*

polycarpa максимальное значение валовой концентрации Хл *a* выше минимального почти в 3 раза; *Lewinskya speciosa* – в 4 раза.

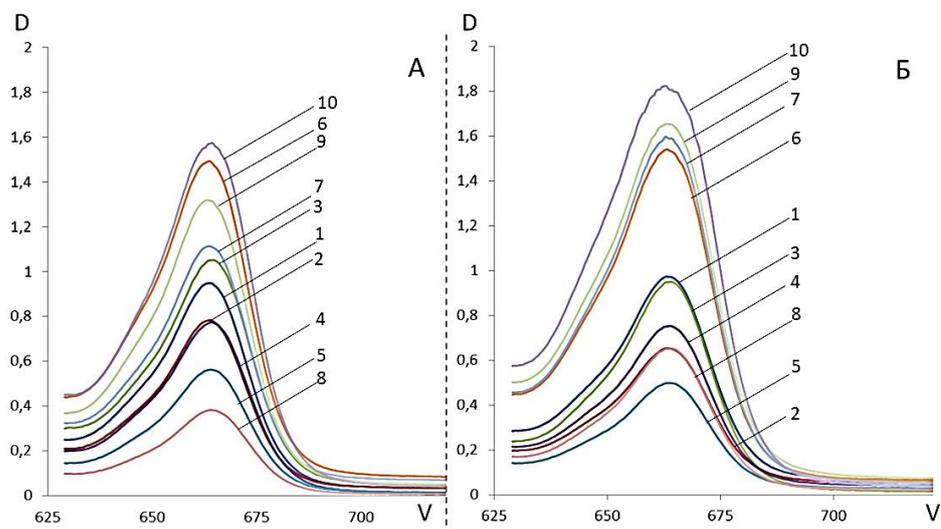


Рис. 2. Спектры поглощения ДМСО-экстрактов пигментов образцов мхов из ПО 1–10 г. Твери: А – *Leskea polycarpa*, Б – *Lewinskya speciosa*

Ранее установлено, что градиент изменения концентраций Хл *a* может отражать разный уровень загрязнения среды (Мейсурова и др., 2021). Наибольшее содержание Хл *a* в образцах обоих видов обнаружено в местах, окруженных преимущественно магистралями с интенсивным движением автотранспорта (ПО 6–7, 9–10). Максимальные значения концентраций Хл *a* в образцах мхов отмечены в ПО 10 (*Leskea polycarpa* – 5,27, *Lewinskya speciosa* – 5,81), который располагается вдоль широкой автомагистрали с интенсивным движением транспорта с многочисленными прилегающими парковками и автозаправочной станцией. Транспорт – источник выбросов различных поллютантов: оксида углерода (CO), диоксида азота (NO₂), оксида азота (NO), углеводородов (CH), сажи (C), диоксида серы (SO₂), формальдегида (CH₂O), бенз(а)пирена, аммиака (NH₃), соединений свинца (Pb) и других металлов (Тихомиров, 2020; Кочнов, 2021; Черёмухин, 2021).

С помощью Фурье-ИК спектрального анализа удалось выявить изменения, связанные с накоплением поллютанта в образцах одного из сравниваемых видов мхов. В ИК-спектрах образцов *Lewinskya speciosa* из ПО 10 обнаружены изменения на частотах 1385 см⁻¹, вызванные колебаниями $\nu_s(-O-NO_2)$, а также 875 и 779 см⁻¹, связанные с колебаниями $\delta(O-N-O)$ (рис. 3) (Infrared characteristic ..., 1994;

Мейсунова и др., 2011; Мейсунова, 2014). Появление этих изменений связано с наличием алкилнитратов (R-O-NO₂), которые образуются в результате накопления данным эпифитным видом основного поллютанта от автотранспорта – диоксида азота (NO₂) (Тихомиров, 2020; Кочнов, 2021; Черемухин, 2021). Изменения в ИК-спектрах образцов, обусловленные поглощением других поллютантов не выявлены. Не обнаружены изменения в ИК-спектрах образцов *Lewinskya speciosa* из других ПО.

Таблица 2

Сравнительный анализ среднего содержания пигментов

№ ПО	<i>Leskea polycarpa</i>		Хл a/b	<i>Lewinskya speciosa</i>		Хл a/b
	Хл a, мг/г	Хл b, мг/г		Хл a, мг/г	Хл b, мг/г	
1	3,46±0,4	1,17±0,1	2,97	3,38±0,2	1,26±0,2	2,69
2	2,29±0,2	0,93±0,1	2,47	2,95±0,3	1,00±0,2	2,94
3	3,56±0,2	1,41±0,4	2,51	3,67±0,5	1,43±0,4	2,57
4	2,78±0,1	0,80±0,3	3,45	2,43±0,8	0,81±0,3	3,00
5	1,87±0,1	0,58±0,1	3,22	2,02±0,3	0,58±0,1	3,46
6	4,83±0,2	2,08±0,3	2,32	5,07±0,2	2,32±0,6	2,18
7	5,05±0,1	1,35±0,5	3,73	3,90±1,2	1,54±0,7	2,53
8	2,63±0,2	0,46±0,1	5,72	1,52±0,1	0,46±0,1	3,31
9	5,00±0,1	1,80±0,6	2,77	4,49±0,9	1,90±0,7	2,37
10	5,27±0,6	2,45±0,5	2,15	5,81±0,8	2,55±0,7	2,28

Фурье-ИК спектральный анализ показал, что в отличие от *Lewinskya speciosum*, степень чувствительности к изменению химического состава воздуха, обусловленного загрязнением, у *Leskea polycarpa* ниже. В ИК-спектрах образцов *Leskea polycarpa* не выявлены изменения, обусловленные накоплением поллютантов, ни в одном из ПО.

Среднее содержание Хл b в образцах обоих видов, как и Хл a, сходно: *Leskea polycarpa* – 1,30, *Lewinskya speciosa* – 1,39. Сопоставима и амплитуда варибельности значений концентраций Хл b: *Leskea polycarpa* – от 0,46 до 2,45, *Lewinskya speciosa* – от 0,46 до 2,55 (табл. 2). Величины максимальных концентраций Хл b выше минимальных в 5,3–5,6 раза. В отличие от Хл a, градиент изменения значений концентраций Хл b в большей степени отражает зависимость от микроклиматических условий и характеристик экологических ниш в местах произрастания мхов (Мейсунова и др., 2021). Особенности урбосреды (разное освещение, влажность) оказывают существенное влияние на фотосинтетическую систему (Онофрейчук и др., 2017).

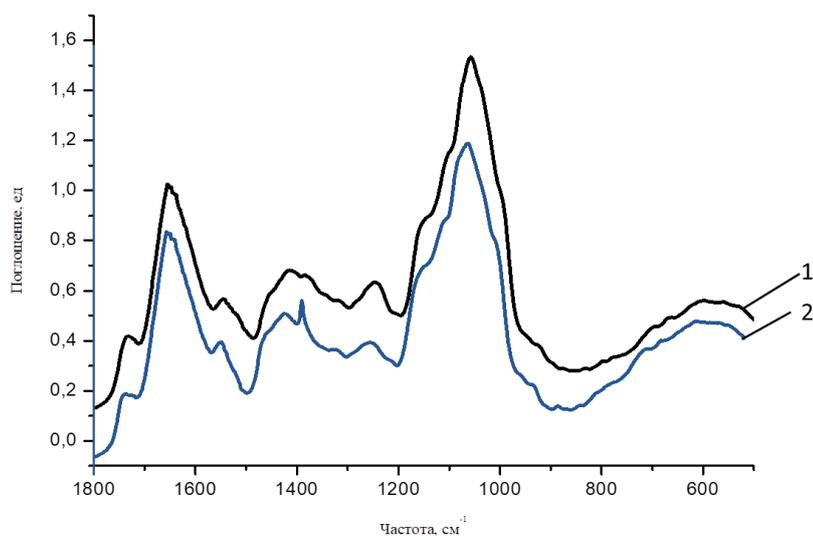


Рис. 3. ИК спектры поглощения образцов мхов из ПО 10 г. Твери:
1 – *Leskea polycarpa*, 2 – *Lewinskya speciosa*

Наибольшие значения валовых концентраций Хл *b* обнаружены в образцах из ПО 6, 9–10. Данные приурочены к разреженным сообществам с бедным видовым составом, в которых повышенная интенсивность света сочетается с низким и менее стабильным уровнем влажности воздуха (Мейсунова и др., 2020). Замеры освещенности с помощью люксметра в местах обитания мхов показали наибольшие значения интенсивности освещенности по сравнению с другими местами их произрастания. Как у эпифитных лишайников, у мхов в условиях яркого солнечного света в определенной степени проявляется адаптивная роль Хл *b*, определяя повышенные значения в данных местообитаниях (Онофрейчук и др., 2017).

Наименьшие значения валовых концентраций Хл *b* обнаружены в образцах из ПО 5, 8, где уровень освещенности существенно ниже за счёт высокой плотности насаждений и значительного видового разнообразия. Обе территории являются памятниками природы, включают крупные фрагменты естественной растительности: смешанный лес с преобладанием хвойных пород (Комсомольская роща) и березняк с примесью хвойных и лиственных пород (Березовая роща).

Таким образом, фотосинтетическая система изученных эпифитных видов мхов имеет индикаторное значение, которое может быть использовано в биомониторинге состояния воздушной среды. Модельные виды обладают сходными индикаторными свойствами. В образцах изученных видов сопоставимое содержание пигментов (Хл *a* и Хл *b*). Концентрация Хл *a* выше, чем Хл *b*. Различия в содержании Хл *a*

и Хл *b* в образцах у изученных видов в зависимости от места произрастания отражают состояние воздушной среды и условий экотопов. Повышенные значения Хл *a* обнаружены в образцах, собранных вблизи крупных транспортных магистралей с интенсивным движением транспорта. Данные Фурье-ИК спектрального анализа позволили уточнить степень чувствительности сравниваемых видов со сходными индикаторными возможностями. Выяснено, что при сопоставимом высоком уровне содержания Хл *a* в образцах из ПО 10 изменения, обусловленные накоплением поллютанта, характерны только для ИК спектров образцов *Lewinskya speciosa*.

Показателем трансформации местообитаний мхов в городских условиях, как и у эпифитных лишайников, является содержание Хл *b*. Его повышенные концентрации выявлены в образцах обоих видов из мест, где высокая интенсивность света сочетается с низким и менее стабильным уровнем влажности воздуха. Преимущественно, это РЗ с искусственными посадками деревьев, характеризующиеся бедным видовым составом и высокой разрежённостью древостоя.

Заключение. Таким образом, у эпифитных листостебельных мхов *Leskea polycarpa* и *Lewinskya speciosa* проанализирован пигментный состав в разных рекреационных зонах г. Твери. У каждого из сравниваемых видов обнаружены сходные значения суммарного содержания пигментов (Хл *a* + Хл *b*), соотношений средних концентраций хлорофиллов *a/b*, среднего содержания хлорофиллов (Хл *a* + Хл *b*).

Выявленные различия в содержании пигментов в зависимости от мест сбора обусловлены разными уровнями загрязнения среды (прежде всего, показатели содержания Хл *a*), а также экологическими условиями экотопов (концентрации Хл *b*). С помощью Фурье-ИК спектрального анализа установлено, что, несмотря на сходные изменения в содержании пигментов в зависимости от условий произрастания (уровень загрязнения, экологические условия), индикаторные возможности сравниваемых видов отличаются. Обнаруженные различия связаны с избирательным накоплением поллютантов атмосферы у *Lewinskya speciosa*.

Авторы выражают глубокую благодарность инженеру-лаборанту ЦКП «Лаборатории биотехнологических измерений» Тарасовой Екатерине Михайловне за помощь в проведении пигментного анализа.

Список литературы

- Алексеенок Ю.В., Вергель К.Н., Юшин Н.С. 2021. Оценка уровней загрязнения территории Республики Беларусь атмосферными выпадениями тяжёлых металлов с использованием бриоиндикации // Успехи современного естествознания. № 10. С. 43-50
- Анищенко Л. Н. 2012. Бриоиндикация состояния среды района опасных техногенных отходов (на примере ОУХО Брянской области) // Ученые записки Орловского гос. ун-та. Сер. Естественные, технические и медицинские науки. № 6-1. С. 364-369
- Анищенко Л.Н., Сафранкова Е.А. 2013. Биоразнообразие и экологическая информативность брио- и лишенофлоры урбоэкосистем в биомониторинге // Экологические проблемы промышленных городов: Сборник научных трудов по материалам 6-й Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. Е.И. Тихомировой: Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т им. Ю.А. Гагарина. С. 147-150
- Анищенко Л.Н., Злыднев А.А., Москаленко И.В. 2017. Бриоиндикация состояния воздуха крупной урбоэкосистемы (на примере г. Орла) // Современные проблемы науки и образования. № 5. С. 353
- Баркан В.Ш., Лянгузова И.В. 2018. Содержание тяжелых металлов в доминантных видах мхов как индикатор аэротехногенной нагрузки // Экология. № 2. С.119-126.
- Богданова Я.А., Корчиков Е.С., Прохорова Н.В. 2016. О выявлении экологических оптимумов мохообразных // Самарский научный вестник. № 1 (14). С. 10-14
- Бревдо Е.Ю., Мейсунова А.Ф., Спирина У.Н. 2022. Морфологические особенности *Orthotrichum obustifolium* Brid. в условиях загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта // ХИМБИОSEASONS 2022: сборник тезисов докладов Форума молодых исследователей. Кемерово, 2022. С. 7.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. 2010. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. Контроль качества воды: Сб. ГОСТов. М.: Стандартинформ
- Жалов Х.Х., Амридинона Д.Ж. 2019. Мохообразные как биоиндикаторы в качестве экологии загрязнения природы Самаркандской области // Вестник современных исследований. № 1.2 (28). С. 19-21
- Злыднев А.А., Анищенко Л.Н. 2018. Опыт бриоиндикации городской среды: химические исследования // Сборник статей XX Международной науч.-практ. конф. Пенза: Пензенский гос. аграрн. ун-т. С. 40-44.
- Злыднев А.А., Онофрейчук О.Н., Анищенко Л.Н. 2018. Пигментный состав фоновых эпифитных видов брио- и лишенобиоты крупных городов как биоиндикационный признак // В мире научных открытий. Т. 10. № 1. С. 75-89.
- Зудина П.Ю., Мейсунова А.Ф. 2017. Оценка содержания металлов в слоевищах лишайника *Нурогутния physodes* из рекреационных зон г. Твери // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития: тезисы докладов Всероссийской науч. конф., Москва, 20-22 марта 2017 года. М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. С. 572-573.
- Ибатуллин А.А., Коврижсин М.Н., Емельянова М.С., Хамов Р.С. 2013. Тенденции в аккумуляции химических элементов у *Orthotrichum anomalum* со

- Среднего Урала // Человек и природа: грани гармонии и углы соприкосновения. № 1. С. 12-19
- Кочнов Ю.М. 2021. Современные подходы к оценке уровня воздействия на атмосферных воздух выбросов передвижных источников // Охрана окружающей среды и заповедное дело. № 1 (2). С. 72-85.
- Любимов В.Б., Анищенко Л.Н., Борздыко Е.В., Маркелова Н.В., Поцепай Ю.Г., Сквородникова Н.А., Азарченкова Е.А., Мокрогузова В.Н. 2011. Итоги разработки системы биоанализа на региональной основе в мониторинге сред обитания // Ежегодник НИИ Фундаментальных и прикладных исследований. №1 (2). С. 49-60.
- Мейсурова А.Ф. 2014. Биомониторинг атмосферного воздуха с использованием ИК спектрального анализа индикаторных видов лишайников (на примере Тверской области): автореф. дис. ... д-ра биол. наук; спец. 03.02.08. Тверь. 43 с.
- Мейсурова А.Ф. 2015. Анализ содержания металлов в пробах воды на гидрологических объектах г. Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3. С. 182-192.
- Мейсурова А.Ф., Борисова Е.М., Тарасова Е.М. 2021. Содержание фотосинтетических пигментов в талломах *Parmelia sulcata* в рекреационных зонах города Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 4(64). С. 153-163.
- Мейсурова А.Ф., Нотов А.А. 2016. Содержание металлов в лишайниках на особо охраняемых природных территориях, сопряженных с урбоэкосистемами // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 83. № 4. С. 794-802.
- Мейсурова А.Ф., Нотов А.А., Пунгин А.В. 2017. Фотосинтетические пигменты в образцах лишайника *Hurogymnia physodes* при разном уровне содержания металлов // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 84. №6. С. 961-968.
- Мейсурова А.Ф., Нотов А.А., Пунгин А.В., Скрыпник Л.Н. 2020. Комплексный физико-химический анализ лишайника *Hurogymnia physodes* в разных фитоценозах // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 87, № 5. С. 816-827.
- Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Нотов А.А., Пахомов П.М. 2014. Биомониторинг серосодержащих поллютантов в атмосфере города методом ИК-Фурье спектроскопии // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 81. № 4. С. 599-605.
- Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. 2011. Определение химического состава эпифитных лишайников по данным ИК спектроскопии // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 78. № 5. С. 764-771.
- Морозова Е.И. 2018. Бриофлора Горняцкого района г. Макеевки // Вестн. студ. научн. общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Т. 1. № 10. С. 71-74.
- Наканиси К. 1965. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир. 216 с.
- Нотов А.А., Спирина У.Н., Игнатова Е.А., Игнатов М.С. 2002. Листостебельные мхи Тверской области (средняя полоса Европейской России) // Arctoa. 2002. Т. 11. С. 297-332.
- Онофрейчук О.Н., Злыднев А.А., Анищенко Л.Н. 2017. Эколого-физиологические особенности видов лишайно- и бриобиоты как комплексный показатель биомониторинга // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XV Всеросс. науч.-практ. конф. с

- международным участием / ФГБУН Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. С. 190-195.
- Савинов А.Б., Мейсунова А.Ф., Нотов А.А., Новожилов Д.А.* 2021. Фенетическая фитоиндикация и биотестирования почв в рекреационных зонах г. Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3 (63). С. 114-126.
- Смит А.* 1982. Прикладная ИК-спектроскопия. М.: Мир. 327 с.
- Тихомиров О.А., Пахомов П.М.* 2017. К формированию системы мониторинга эколого-гидрохимического состояния водных объектов региона. // Вестн. ТвГУ. Сер. Химия. 2017. № 2. С. 140-151.
- Тихомиров О.А.* 2020. Эколого-геохимический анализ состояния природной среды Тверского региона // Вестн. ТвГУ. Сер. Химия. № 1 (39). С. 135-149
- Федосов В.Э.* 2018. Семейство Orthotrichaceae (Bryophyta) во флоре России: итоги ревизии и биогеографический обзор // Новости систематики низших растений. Т. 52-2. С. 519-534.
- Цепляя Е.А.* 2022. Бриоиндикационный мониторинг Горловско-Енакиевского промышленного конгломерата Донбасса // Вестн. студ. науч. общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Т 1. № 14. С. 109-114.
- Цыганов А.А.* 2019. Оценка состояния окружающей среды города Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. География и геоэкология. № 2 (26). С. 56-77.
- Черемухин Д. Д.* 2021. Влияние автотранспорта на состояние атмосферного воздуха г. Твери // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов: материалы IX Всеросс. науч.-практ. конф. Тверь: Твер. гос. ун-т. 251 с.
- Шматова Л.М.* 2012. Бриоиндикация состояния лесных экосистем района опасных техногенных объектов: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Брянск: РИО Брянского гос. ун-та им. академика И.Г. Петровского. 24. с.
- Экосистема 2020. [электрон. ресурс]. URL: <http://ecosystema.ru/08nature/moss/124s.htm> (дата обращения 18.09.2022).
- Экосистема 2020. [электрон. ресурс]. URL: <http://ecosystema.ru/08nature/moss/140p.htm> (дата обращения 18.09.2022).
- Lara F., Garilleti R., Goffinet B., Draper I., Medina R., Vigalondo Garcia B., Mazimpaka V.* 2016. *Lewinskya*, a new genus to accommodate the phaneroporous and monoicous taxa of *Orthotrichum* (Bryophyta, Orthotrichaceae) // Cryptogamie Bryologie. V. 37. № 4. P. 361-382.
- Socrats G.* 1994. Infrared characteristic group frequencies: tables and charts. 2 ed. 249 p.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN SOME TYPES OF MOSS SPECIES FROM URBAN ZONES OF THE CITY OF TVER

A.F. Meysurova, A.A. Suvorova, E.Yu. Brevdo
Tver State University, Tver

A comparative assessment of the content of photosynthetic pigments in two species of leaf mosses (*Leskea polycarpa*, *Lewinskya speciosa*) in the urban ecosystems of the city of Tver with different levels of anthropogenic

transformation was carried out. These species have similar values of the main indicators (concentrations of chlorophylls Chl *a* and Chl *b*, total content of Chl *a* and Chl *b*; ratios of chlorophyll *a/b* concentrations). The amplitudes of change in these values of pigment concentrations are associated with different levels of environmental pollution (Chl *a*) and microclimatic conditions for the growth of species (Chl *b*). Despite similar changes in the content of pigments, the indicator capabilities of the compared species differ. Using FTIR spectroscopy, it was shown that the degree of sensitivity to changes in the chemical composition of air in *Lewinskya speciosa* is higher than in *Leskea polycarpa*. The IR spectra of *Lewinskya speciosa* samples showed changes associated with the accumulation of alkyl nitrates (R-O-NO₂), which indicate the presence of NO₂ in the air.

Keywords: *photosynthetic pigments, bryophytes, bryoincication, chlorophyll a, chlorophyll b, Leskea polycarpa, Lewinskya speciosa, biomonitoring, Tver.*

Об авторах:

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, декан биологического факультета, заведующая кафедрой ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: alexandrauraz@mail.ru.

СУВОРОВА Алена Алексеевна – студент бакалавр направления 06.03.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: alexeeva154@gmail.com.

БРЕВДО Екатерина Юрьевна – ассистент кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: ekaterina.brevdo@yandex.ru.

Мейсурова А.Ф. Сравнительный анализ содержания фотосинтетических пигментов у некоторых видов мхов в рекреационных зонах города Твери / А.Ф. Мейсурова, А.А. Суворова, Е.Ю. Бревдо, // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. № 3(67). С. 157-169.