

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ТАЛЛОМАХ *PARMELIA SULCATA* В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ ГОРОДА ТВЕРИ

А.Ф. Мейсунова, Е.А. Борисова, Е.М. Тарасова

Тверской государственной университет, Тверь

Проведена оценка содержания пигментов в образцах лишайника *Parmelia sulcata* Taylor, собранных в рекреационных зонах города Твери разного уровня антропогенной трансформации и загрязнения. Выявлены существенные различия в содержании хлорофиллов *a* и *b*, что свидетельствует о высокой пластичности фотосинтетической системы. Уровень содержания Хл *a* в рекреационных зонах выше, чем в фоновых условиях. Высокая вариабельность значений концентраций Хл *b* свидетельствует о приоритетном значении пигментной системы при адаптации к изменению характеристик местообитания. При оценке уровня воздействия городской среды на биологические объекты информативным может быть соотношение содержания хлорофиллов. В ненарушенных природных экосистемах содержание Хл *a* больше, чем Хл *b*, а в антропогенно трансформированных – концентрация Хл *a* меньше, чем Хл *b*.

Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, эпифитные лишайники, биоиндикация, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, *Parmelia sulcata*, биомониторинг, Тверь.

Введение. В последнее время интерес к анализу фотосинтетических пигментов в талломах эпифитных лишайников возрастает (Garty et al., 1997; Андрианова 2000; Бязров 2002; Veerman et al., 2007; Анищенко и др., 2015; Мейсунова и др., 2017, 2021). Данные об изменении уровня содержания хлорофиллов в лишайниках могут быть оперативным методом оценки состояния среды и выявления характера воздействия загрязнения на биологические объекты (Шмакова, Марковская, 2010; Маторин и др., 2013; Головкин и др., 2015; Храменкова, Цуриков, 2016; Дымова, Захожий 2019; Федурев, Пунгин, 2020). Чувствительность фотосинтетической системы лишайников неоднократно подтверждена результатами исследований, проведенных в разных регионах и экотопах (Вацков et al., 2003; Андросова и др., 2008; Головкин и др., 2015; Подтероб, Белый, 2015; Мейсунова и др., 2017). Установлено, что содержание фотосинтетических пигментов может меняться в ответ на увеличение степени загрязнения воздуха и изменения микро- и макроклимата (Воронина и др., 1999; Головкин и др., 2015; Храменкова, Цуриков, 2016; Злыднев и др., 2018; Ерофеева и др., 2019; Федурев, Пунгин 2020; Мейсунова и др., 2017; Мейсунова, Нотов 2021). При этом изменение концентрации хлорофилла *a* (Хл *a*) в большей степени связано с компенсаторными реакциями при адаптации к условиям техногенного загрязнения, а содержание хлорофилла *b* (Хл *b*) зависит,

прежде всего, от микроклиматических условий и параметров экологических ниш лишайников.

Уровень содержания фотосинтетических пигментов видоспецифичен и зависит от многих факторов. Особый интерес представляет анализ изменения концентраций хлорофиллов у лишайников в урбоэкосистемах в зависимости от степени загрязнения среды и трансформации местообитаний лишайников. Он дает возможность оценить специфичность реакции разных видов на антропогенную трансформацию и изменение микроклиматических условий в городской среде.

Удобной модельной территорией может быть административный центр Тверской области – г. Тверь. В городе развита промышленная инфраструктура и одновременно сохранились крупные фрагменты естественной растительности, включая особо охраняемые природные территории (ООПТ), парки и скверы. Экологическое состояние г. Твери достаточно изучено, что позволяет провести анализ содержания пигментов широко распространенного индикаторного вида *Parmelia sulcata* Taylor, который сейчас активно используют в биомониторинге (Уразбахтина, Катаускайте, 2003; Мейсунова и др., 2009; Мейсунова, Нотов, 2016; Мейсунова, 2017; Мейсунова, Лопина, 2018).

Цель работы – оценка содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) в талломах *P. sulcata* в экосистемах г. Твери с разной степенью антропогенной трансформации. Задачи: сбор образцов и определение уровня содержания Хл *a* и Хл *b* в; выяснение характера зависимости значений концентраций от типа местообитания и уровня антропогенной трансформации; оценка значения полученных данных для биоиндикации.

Методика. Объектом исследования были образцы *P. sulcata*. Их сбор проведен весной 2021 г. в г. Твери и его окрестностях (табл. 1). В это время года микроклиматические условия для лишайников оптимальны по уровню освещения и температурному режиму (Домнина, Шапиро, 2008). Весной также наиболее благоприятные параметры водообеспечения.

Местом отбора образцов служили рекреационные зоны (РЗ), которые расположены в разных районах города и его окрестностях. Среди них особо охраняемые природные территории (ООПТ) регионального значения – памятники природы (ПП), парковые зоны, а также зеленые насаждения вдоль крупных магистралей с интенсивным движением автотранспорта. При выборе пунктов отбора (ПО) образцов учтена хозяйственно-промышленная инфраструктура города, природные характеристики, а также результаты ранее проведенных экологических

Таблица 1
Общая характеристика пунктов отбора (ПО 1-10) образцов *Paramecia sulcata* в г. Твери и его окрестностях

ПО	Район города	Наименование	Координаты	Источники загрязнения	Уровень нагрузки* (Мейсурова, 2017)
1	Московский	Бобачевская роща (ПП)	56.831858 с.ш. 35.935468 в.д.	Машиностроение: ОАО «Тверской экскаваторный завод», ООО «Калининский энерготехнический завод» и др.; химическая отрасль: ОАО «Гверхпмволокно», ОАО «Искож-Тверь» и др.	Zc=23,28 (средний)
2	Центральный	Боярышник глубокий Скорбященский (ПП)	56.855378 с.ш. 35.916129	автотранспорт	Zc=15,15 (слабый)
3		ул. Советская, древесные насаждения	56.857479 с.ш. 35.924041 в.д.	автотранспорт (пнтенсивное движение)	
4		сквер героев Чернобыля	56.856763 с.ш. 35.928082 в.д.	автотранспорт (пнтенсивное движение)	
5		парк Победы	56.846276 с.ш. 35.916333 в.д.	легкая промышленность: ОАО «Тверь швейная фабрика; автотранспорт (пнтенсивное движение)	
6		Парк Текстильщик	56.847277 с.ш. 35.855361 в.д.	автотранспорт	
7	Пролетарский	Первомайская роща (ПП)	56.836373 с.ш. 35.829458 в.д.	энергетическая отрасль: Тверская ГЭЦ-1; производство стройматериалов: ООО «Инноформа», ООО ТермоДом; машиностроение: ЭЛТОР, ООО «Техмаш-М», ООО «Тверьстроймаш»; автотранспорт	Zc=22,81 (средний)
8	Заволжский	Комсомольская роща (ПП)	56.878791 с.ш. 35.810146 в.д.	Машиностроение: ОАО «Тверской вагоностроительный завод», ОАО Центросвармаш «Ригм» и др.; производство стройматериалов: ОАО «Тверской домостроительный комбинат», ООО «Тверское СМУ-2 МЭС), автотранспорт (выезд на федеральную трассу М10)	Zc=1,85 (допустимый)
9	Окрестности г. Тверг	Сахаровский парк (ПП)	56.901567 с.ш. 36.053105 в.д.	механический цех при Тверской ГСХА, автотранспорт	Нет сведений
10		Сахаровское шоссе, лесной массив	56.876956 с.ш. 36.010109 в.д.	автотранспорт	

исследований (Мейсунова и др., 2011; Мейсунова, Нотов 2016; Зудина, Мейсунова, 2017; Мейсунова и др., 2017). Общее число ПО – 10. В пределах каждого ПО собрано по 3–5 образцов, всего обработано свыше 50 проб.

При отборе образцов лишайников фиксировали время сбора, температуру и влажность воздуха. Уровень освещенности зарегистрирован с помощью люксметра «МЕГЕОН 21550».

Анализ концентраций фотосинтетических пигментов проведен в ЦКП Тверского государственного университета. Содержание пигментов (Хл *a*, Хл *b*) в образцах *P. sulcata* определено по общепринятой методике на фотоколориметре КФК-3-ЗОМЗ (Россия) при $\lambda = 630, 647$ и 664 нм (ГОСТ 17.1.4.02-90). В качестве экстрагента использован ацетон (80%). Концентрация хлорофилла *a* рассчитана по формуле,

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

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

Концентрация хлорофилла *b* рассчитана по формуле:

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

где D_{647}, D_{664} и D_{630} – оптические плотности экстракта в при $\lambda=647, 664$ и 630 нм; $V_э$ – объем экстракта, см³; $V_{пр}$ – объем пробы, см³; 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 (Мейсунова и др., 2017).

Результаты и обсуждение. Среднее суммарное содержание Хл *a* и Хл *b* в образцах лишайника *P. sulcata* высокое и составляет 3,30; среднее соотношение концентраций хлорофиллов $a/b = 1,24$ (табл. 2; рис. 1).

Выяснено, что уровень содержания Хл *a* и Хл *b* различны (табл. 2). Среднее содержание Хл *a* меньше (1,77), чем Хл *b* (1,78). Значения концентраций Хл *b* характеризуются высокой вариабельностью (от 0,72 до 4,73) по сравнению с Хл *a* (от 0,46 до 2,48). Разница между максимальными и минимальными значениями для Хл *a* составляет 7,2; для Хл *b* – 5,3. Показатели среднего содержания хлорофиллов выше значений для этого вида в фоновых условиях для Тверской области

(Мейсунова и др., 2021). Среднее содержание Хл *a* выше фона в 1,3 раза (среднее фоновое значение 1,35), Хл *b* – в 6,1 раза (среднее фоновое значение 0,29). Концентрация хлорофилла *a* зависит от степени антропогенной трансформации экосистем; хлорофилла *b* – в большей степени от микроклиматических условий и характеристик экологических ниш, в которых растет лишайник (Мейсунова и др., 2017).

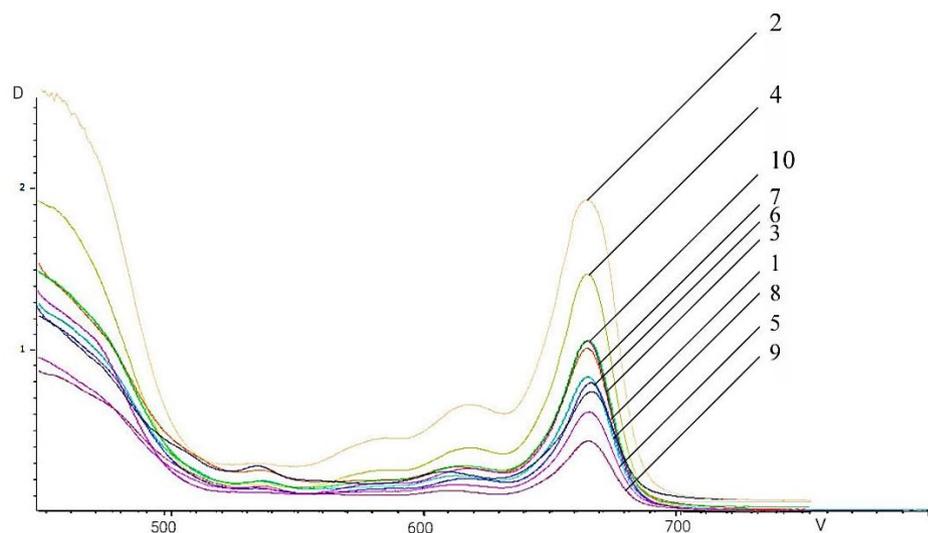


Рис. 1. Спектры поглощения ДМСО-экстрактов пигментов образцов *P. sulcata* из ПО 1–10 г. Твери

Таблица 2

Средние значения физиологических характеристик в образцах *P. sulcata* из разных РЗ г. Твери

ПО	Средние значения		Фоновые значения (Мейсунова и др., 2021)	
	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	2,96 ±0,2	1,16 ±0,1	1,35	0,29
2	2,09 ±0,1	4,73 ±0,3		
3	1,12 ±0,02	2,09 ±0,2		
4	0,54 ±0,2	2,48 ±0,1		
5	0,46 ±0,1	0,92 ±0,2		
6	1,81 ±0,2	1,66 ±0,1		
7	2,83 ±0,1	0,99 ±0,1		
8	1,47 ±0,2	1,62 ±0,2		
9	2,60 ±0,15	1,44 ±0,1		
10	1,89 ±0,1	0,72 ±0,05		

Установлено, что содержание Хл *a* в образцах из крупных РЗ, в том числе, памятников природы (ПО 1, 6–7, 9–10) существенно выше, чем содержание Хл *b*. В литературе неоднократно отмечено, что в естественных природных экосистемах содержание Хл *a* преимущественно выше, чем содержание Хл *b* (Войцехович, Кашеваров, 2010; Андросова и др., 2015).

В других пунктах города (ПО 2–5), наоборот, содержание Хл *a* меньше, чем Хл *b*. Данные РЗ расположены в центре города и включают фрагменты искусственно созданной растительности или представляют собой группы отдельных древесных насаждений вдоль крупных магистралей. В городской среде, особенно в центральной части, температура воздуха, как правило, выше, чем на периферии, помимо этого влажность в центре города ниже (Шкляев и др., 2010). Эти особенности урбоэкосреды оказывают большое влияние на фотосинтетическую систему лишайников. В естественных природных фитоценозах увеличение содержание Хл *b* является компенсаторной реакцией на недостаточность освещения и влагообеспеченности. В условиях городской среды, по-видимому, низкая сомкнутость крон отдельно стоящих деревьев, высокая освещенность, нестабильная и низкая влагообеспеченность воздуха определяют иную адаптационную реакцию лишайника (Мейсурова и др., 2017) (табл. 1; рис. 2). Высокие значения концентраций Хл *b* по сравнению с Хл *a* выявлены в местах с наиболее интенсивным освещением (рис. 2). Например, максимальное значение концентрации Хл *b* (4,73) выявлено в образцах, собранных в ПО 2 – на Боярышнике гибком Скорбященском (ПП), где уровень освещения один из самых высоких – 153,1 люкс. Минимальное (0,72), значение обнаружено в ПО 10 (лесопарковая зона по Сахаровскому шоссе, освещение низкое – 20,6 люкс). Вероятно, в городских условиях изменение экологических параметров, в первую очередь освещения существенно влияет на состояние фотосинтетической системы (Хл *b*) (Андросова и др., 2008; Wakefield, Bhattacharjee, 2012; Мейсурова и др., 2017).

Значительную буферную роль играют крупные лесные массивы памятника природы Комсомольская роща, где несмотря на высокий уровень освещения местообитания (145,6 люкс), уровень содержания Хл *a* (1,47) незначительно меньше, чем Хл *b* (1,62). Высокая вариабельность значений, прежде всего, Хл *b* может представлять интерес при оценке уровня трансформации микроклиматический условий экологических ниш лишайников в урбоэкосистемах.

Незначительное превышение средних значений концентраций содержания Хл *a* по сравнению с фоном может свидетельствовать об отсутствии значимого для лишайника уровня загрязнения среды. Максимальные значение Хл *a* наблюдаются в образцах из ПО 1,7,9;

минимальные – в образцах из ПО 4–5 (табл. 2). Изменение значений концентраций Хл *a* по градиенту в образцах сопряжено с разным уровнем загрязнения среды. Прежние исследования в г. Твери свидетельствуют о повышенном содержании металлов в Пролетарском и Московском районах (Мейсурова, 2017; Першина, Мейсурова, 2017). Здесь в образцах лишайников отмечены максимальные концентрации Хл *a* – в Бобачевской и Первомайской роще. Обе территории являются памятниками природы, однако окружены промышленными предприятиями разных отраслей (табл. 1).

Результаты анализа содержания пигментов в образцах *P. sulcata* в городских условиях имеют биоиндикационное значение. Маркером трансформации урбоэкосистем, которые существенно отличаются по микроклимату от природных фитоценозов, может быть соотношение хлорофиллов *a* и *b*. В РЗ с фрагментами растительности естественного происхождения содержание Хл *a* больше, чем Хл *b*. В РЗ с искусственным древесными насаждениями – концентрация Хл *a* меньше, чем Хл *b*. Вариабельность концентраций хлорофилла *b* в природных сообществах ниже по сравнению с урбоэкосистемами. Изменение содержания Хл *b* является ответной реакцией, как правило, на недостаток освещения. В условиях городской среды, где уровень освещения высокий, вариабельность содержания Хл *b* существенно возрастает. Чем выше уровень освещения, тем выше концентрация Хл *b*. Низкая вариабельность значений Хл *a* по сравнению с Хл *b* может указывать, что при антропогенной трансформации, приоритетное значение у *P. sulcata* приобретает адаптация к световому режиму. В изученных рекреационных зонах уровень загрязнения среды для данного вида допустимый.

Заключение. При анализе содержания фотосинтетических пигментов *P. sulcata* установлено, что уровни концентраций Хл *a* и Хл *b* обуславливаются разными факторами. Содержания пигментов выше, чем в фоновых местообитаниях условий этого вида в Тверской области. Градиент изменения концентраций Хл *a* отражает разный уровень загрязнения среды. В образцах из РЗ с наибольшей степенью загрязнения выявлены максимальные значения концентраций Хл *a*.

При допустимом уровне загрязнения среды приоритетной для данного вида является адаптация к изменению микроклиматических условий местообитания. Наиболее лабильно содержание Хл *b*. Маркером антропогенной трансформации урбоэкосистем может быть соотношение содержания хлорофиллов *a* и *b*. В ненарушенных природных фитоценозах концентрация Хл *a* больше, чем Хл *b*, а в антропогенно трансформированных местообитаниях Хл *a* меньше, чем Хл *b*.

Список литературы

- Андреанова Ю.Е., Тарчевский И.А. 2000. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука. 135 с.
- Андросова В.И., Вержбицкая Е.В., Слободяник И.И. 2008. Содержание фотосинтетических пигментов в талломе лишайника *Hurogymnia physodes* L. в разных условиях местообитания // Материалы Всерос. конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века» в рамках XII съезда Рус. ботан. о-ва. (Петрозаводск, 22–27 сентября 2008 г.). Т. 6. Петрозаводск. С. 10-12.
- Андросова В.И., Марковская Е.Ф., Семенова Е.В. 2015. Фотосинтетические пигменты лишайников рода *Cladonia* скальных лесных сообществ горы Оловгора (Архангельская область) // Успехи современного естествознания. № 2. С. 120-125.
- Анищенко Л.Н., Сквородникова Н.А., Борздыко Е.В. 2015. Химическая лихеноиндикация как основа биомониторинга воздуха в антропогенных экосистемах // Фундаментальные исследования. № 2. С. 2144-2148.
- Бязров Л.Г. 2002. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир. 336 с.
- Войцехович А.А., Кашеваров Г.П. 2010. Пигменты фотосинтетического аппарата зеленых водорослей – фотобионтов лишайников // Альгология. Т. 20. № 3. С. 287-299.
- Воронина О.Е., Ефимцев Е.И., Татарина Т.А. 1999. Пигментный аппарат растений в условиях антропогенного воздействия // Вестник Московского государственного университета леса. № 2. С. 82.
- Головки Т. К., Дымова О.В., Табаленкова Г.Н., Пыстина Т.Н. 2015. Фотосинтетические пигменты и азот в талломах лишайников бореальной флоры // Теоретическая и прикладная экология. № 4. С. 38-44.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. 2010. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. Контроль качества воды: Сб. ГОСТов. М.: Стандартинформ.
- Домнина Е.А., Шапиро И.А. 2008. Физиологические особенности некоторых видов лишайников в условиях южной тайги // XII съезд русского ботанического общества. Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века. Материалы Всерос. конференции. С. 186-189.
- Дымова О.В., Захожий И.Г. 2019. Фотосинтетические пигменты в лишайниках и оценка состояния фотобионта на основе изучения флуоресценции хлорофилла а // Лишайники: от молекул до экосистем: Программа и тезисы докладов Международной конференции, Сыктывкар, 9–12 сентября 2019 года. Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. С. 30-31.
- Ерофеева Е.А., Савинов А.Б., Юнина В.П., Сидоренко М.В., Зазнобина Н.И., Кузнецов М.Д., Новожилов Д.А. 2019. Состояние фотосинтетического аппарата *Aegorodium podagraria* L. при загрязнении почв тяжелыми металлами в урбоэкосистемах // Экология урбанизированных территорий. № 4. С. 47-50.

- Злыднев А.А., Онофрейчук О.Н., Анищенко Л.Н.* 2018. Пигментный состав фоновых эпифитных видов брио- и лишенобиоты крупных городов как биоиндикационный признак // *Siberian journal of life sciences and agriculture*. № 1. С. 75-89.
- Зудина П.Ю., Мейсунова А.Ф.* 2017. Оценка содержания металлов в слоевищах лишайника *Hypogymnia physodes* из рекреационных зон г. Твери // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития : тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Москва, 20–22 марта 2017 года / ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН». М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. С. 572-573.
- Маторин Д.Н., Алексеев А.А., Горячев С.Н., Братковская Л.Б., Орлова В.С.* 2013. Изучение особенностей фотосинтеза лишайников с использованием методов флуоресценции хлорофилла // *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. № 3. С. 5-11.
- Мейсунова А. Ф., Нотов А. А.* Содержание металлов в лишайниках на особо охраняемых территориях, сопряженных с урбоэкосистемами // *Журн. прикл. спектр.* 2016. Т. 83. № 5. С. 794-802.
- Мейсунова А. Ф., Нотов А.А.* 2021. О проблеме оценки индикаторной способности близкородственных видов лишайников по данным спектрального анализа // *Полевой журнал биолога*. Т. 3. № 1. С. 64-73.
- Мейсунова А.Ф.* 2017. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г. Твери // *Вестник ТвГУ. Серия «Биология и экология»*. № 2. С. 324-342.
- Мейсунова А.Ф., Лопина А.В.* 2018. АЭС-ИСП-анализ содержания элементов в водах бассейна Верхней Волги в пределах трех субъектов РФ (Тверская, Московская и Ярославская области) // *Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология*. № 4. С. 226-241.
- Мейсунова А.Ф., Нотов А.А., Пунгин А.В.* 2017. Фотосинтетические пигменты в образцах лишайника *Hypogymnia physodes* при разном уровне содержания металлов // *Журн. прикладной спектроскопии*. Т. 84. № 6. С. 961-968.
- Мейсунова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.* 2009. ИК спектральный анализ химического состава лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. как метод оценки состояния атмосферы // *Журн. прикл. спектроскопии*. Т. 76. № 3. С. 447-453.
- Мейсунова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.* 2011. Определение химического состава эпифитных лишайников по данным ИК спектроскопии // *Журн. прикл. спектроскопии*. Т. 78. № 5. С. 764-771.
- Першина Ю.С., Мейсунова А.Ф.* 2017. Загрязнение почв металлами в Твери // *Вестник ТвГУ. Серия: Химия*. № 3. С. 127-138.
- Подтероб А.П., Белый П.Н.* 2015. Влияние и методы оценки природных и антропогенных воздействий на экосистемы // *Экологический вестник*. № 2. С. 83-88.
- Уразбахтина А.Ф., Катаускайте Л.А.* 2003. Некоторые итоги лишеноиндикационного анализа рекреационных зон г. Твери //

- Ботанические исследования в Тверском регионе. Тверь: Изд-во ГЕРС. С. 130-136.
- Федураев П. В., Пунгин А. В. 2020. Фотосинтетические пигменты лишайника *Parmelia sulcata* как тест-система для оценки загрязнения атмосферного воздуха эвтрофицирующими веществами // Экологические аспекты глобального взаимодействия живых систем: Сборник докладов конференции, Калининград, 22–24 февраля 2020 года / Под редакцией М.В. Даниловой. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта. С. 54-55.
- Храмченкова, О. М. Цуриков А. Г. 2016. Содержание пигментов фотосинтеза в талломах лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., произрастающего в сырых и мокрых сосняках юго-восточного Полесья // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 5. Экономика. Социология. Биология. Т. 6. № 1. С. 111-117.
- Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. 2010. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории // Географический вестник. № 3. С. 132-139.
- Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф. 2010. Фотосинтетические пигменты растений и лишайников арктических тундр Западного Шпицбергена // Физиология растений. Т. 57. № 6. С. 819-825.
- Bačkor M., Paulikova K., Geralska A., Davidson R.. Polish J. 2003. Environm monitoring of air pollution in Kosice (Eastern Slovakia) using lichens // Polish Journal of Environmental Studies. V. 12. № 2. P. 141-150.
- Garty J., Kloog Y., Cohen R., Wolfson R., Karnieli A. The effect of air pollution on the integrity of chlorophyll spectral reflectance response, and on concentrations of nickel, vanadium and sulfur in the lichen *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl // Environ. Res. 1997. V. 74. P. 174-187.
- Veerman J., Vasil'ev S., Gavin D. Paton, Ramanauskas J., Doug B. 2007. Photoprotection in the lichen *Parmelia sulcata*: The origins of desiccation-induced fluorescence quenching // Plant Physiol. V. 145. P. 997-1005.
- Wakefield J.M., Bhattacharjee J. 2012. Effect of air pollution on chlorophyll content and lichen morphology in northeastern Louisiana // Evansia. P. 282-292.

**ASSESSMENT OF THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC
PIGMENTS IN THE LICHEN THALLUS
PARMELIA SULCATA IN URBAN CONDITIONS**

A.F. Meysurova, E.A. Borisova, E.M. Tarasova
Tver State University, Tver

The estimation of the pigment's content was carried out in samples of the indicator species of the lichen *Parmelia sulcata* collected in recreational zones of different levels of transformation and pollution. Significant differences were found out in the content of chlorophylls *a* and *b* in the samples, which

indicates a high plasticity of the photosynthetic system. The chlorophyll *a* content level associated with adaptation to environmental pollution is higher than the background, however, it is acceptable for this species. The high variability of the chlorophyll *b* concentration values indicates the priority importance of the adaptation of the pigment system to changes in the microclimatic conditions of their habitats. In biomonitoring of the transformation degree of microclimatic conditions of habitats, the ratio of chlorophyll *a* / *b* is informative: in natural ecosystems, the content of chlorophyll *a* is higher than in chlorophyll *b*; anthropogenic, on the contrary, the concentration of chlorophyll *a* is lower than in chlorophyll *b*.

Keywords: *photosynthetic pigments, epiphytic lichens, bioindication, chlorophyll a, chlorophyll b, Parmelia sulcata, biomonitoring, Tver.*

Об авторах:

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, заведующая кафедрой ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: Meysurova.AF@tversu.ru.

БОРИСОВА Екатерина Алексеевна – магистр направления Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: borisova.ea@bk.ru.

ТАРАСОВА Екатерина Михайловна – инженер лаборант лаборатории биотехнологических измерений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: Tarasova.EM@tversu.ru.

Мейсурова А.Ф. Содержание фотосинтетических пигментов в талломах *Parmelia sulcata* в рекреационных зонах города Твери / А.Ф. Мейсурова, Е.А. Борисова, Е.М. Тарасова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2021. № 4(64). С. 153-163.