

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 574.2: 582.34 (470.331)

DOI: 10.26456/vtbi301

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ КИСЛОТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ МХА *LEWINSKYA SPECIOSA*

А.Ф. Мейсунова, Е.Ю. Бревдо

Тверской государственной университет, Тверь

Изучено влияние кислотных поллютантов на фотосинтетическую систему эпифитного мха *Lewinskya speciosa* Nees. Выяснено, что воздействие поллютантов вызывает существенное снижение содержания хлорофиллов ($a+b$), которое сопряжено с внешними морфологическими изменениями. Установлено двукратное изменение суммарного содержания пигментов по сравнению с фоновыми концентрациями в зависимости от вида поллютанта. Величины соотношений хлорофиллов (a/b), как отражение адаптационных процессов возрастают в первые две недели и снижаются в последующие, достигая значения ниже фоновых. При воздействии поллютантов в большей степени изменяется содержание Хл a . Выявлено, что к действию аэрозоля HNO_3 *L. speciosa* проявляет большую чувствительность чем к H_2SO_4 .

Ключевые слова: биоиндикация, бриоиндикация, Тверь, пигментный анализ, *Lewinskya speciosa*, поллютанты, модельный эксперимент, серная кислота, азотная кислота, загрязнение атмосферы, хлорофилл.

Введение. Биоиндикация является перспективным и эффективным методом оценки состояния окружающей среды (Израэль, 1984; Выходцева, 2015; Омарова и др., 2019). В качестве индикаторов часто используют лишайники, водоросли, мхи, голосеменные и цветковые растения (Мейсунова и др., 2009; Балакирев, 2013; Гордеева, 2016; Ворошилова, 2017; Завалий, 2017; Сафронова, 2022). Среди них, чувствительными биоиндикаторами к загрязнению воздушной среды являются эпифитные виды мхов. При оценке среды с помощью бриоиндикации используют данные, сопряженные с различными аспектами организации, связанные с популяционно-видовым, анатомо-морфологическим и физиолого-биохимическим уровнями (Корейкин 2007; Анищенко, 2012; Межибор, 2014; Боженко, 2015; Мейсунова и др., 2016; Бревдо и др., 2022; Цепляя, 2022). Перспективным направлением исследований является изучение особенностей эколого-физиологических адаптаций к стрессовым факторам (Онофрейчук и др., 2017). Весьма чувствительна к воздействию загрязнения среды фотосинтетическая

система. Изменяется общее содержание пигментов, и их соотношение (Баженов, Шавнин, 1994; Воронина и др., 1999; Онофрейчук и др., 2017). Детальное изучение содержания пигментов у эпифитных видов мхов при воздействии разных поллютантов может существенно дополнить биоиндикационный подход. Оно позволит выявлять изменения на начальных стадиях загрязнения, в том числе кислотного. В качестве модельного объекта для проведения оценки влияния кислотного загрязнения целесообразно использование мха *Lewinskya speciosa* (Nees) F. Lara, Garilleti & Goffinet, который прежде называли *Orthotrichum speciosum* Nees (Федосов, 2018; Мейсунова и др., 2022). Известно, что кислотные загрязнители влияют на организм как биохимические агенты, нарушая структуру клеток, морфологические особенности и физиологические процессы (Межибор, Большунова, 2014; Мосталыгина и др., 2020). Благодаря относительной простой организации и высокой сорбционной способности мохообразные первыми реагируют на изменения концентраций кислотных поллютантов в окружающей среде. Они способны их перехватывать и аккумулировать.

Цель работы – оценка изменения содержания пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) в образцах индикаторного вида *L. speciosa* при моделировании кислотного загрязнения. Задачи: 1) разработать схему экспериментов по воздействию кислотных поллютантов; 2) провести анализ содержания фотосинтетических пигментов в образцах *L. speciosa*, испытавших воздействие разных концентраций кислотных поллютантов; 3) оценить уровень изменения содержания хлорофиллов (Хл *a*, Хл *b*).

Методика. Эксперимент по воздействию кислотных поллютантов на *L. speciosa* провели в июле 2022 года в административном центре Тверской области – г. Твери. Вид *L. speciosa* широко распространен в регионе и в городе (Нотов и др., 2002; Нотов, 2007). В качестве модельной территории выбрана Комсомольская роща. Она является особо охраняемой природной территорией (ООПТ) регионального значения, где довольно полно сохранились фрагменты естественной растительности. В результате проведенных ранее исследований в Комсомольской роще отмечен самый низкий уровень антропогенного воздействия (Мейсунова и др., 2009; Мейсунова, Нотов, 2016; Мейсунова и др., 2017).

При выборе поллютантов для моделирования кислотного загрязнения использовали наиболее распространенные вещества, источником которых является транспорт, промышленность и сельское хозяйство (Чайка, Князев, 1993; Пиявкин и др., 2012; Мейсунова и др., 2016; Тогерсен, Тролле, 2016). Среди них серная (H_2SO_4) и азотные кислоты (HNO_3). Это типичные кислотные поллютанты, появление

которых обусловлено способностью диоксидов серы (SO₂) и азота (NO₂) растворяться в атмосферной влаге с образованием аэрозолей соответствующих кислот (Мейсунова и др., 2009; Мейсунова и др., 2016).

В природных условиях поглощение кислотных поллютантов происходит разными способами. При моделировании воздействия кислотных поллютантов применили способ, при котором поллютанты проникают внутрь образцов с осадками в виде дождей (искусственный дождь) с использованием распылителей (Мейсунова и др., 2016). Для этого, на территории Комсомольской рощи были выделены две дерновинки *L. speciosa*, субстратом для которых служил *Populus balsamifera* L. (56,88554 с.ш. 358232 в.д.) и *Betula pendula* Roth. (6,88557 с.ш. 358233 в.д.). Ежедневно, одну из дерновинок опрыскивали с помощью распылителя разбавленной азотной кислотой, другую – серной кислотой. На каждый эксперимент по орошению расходовали по 30 мл 0,03%-го раствора. Процедуру орошения дерновин с мхом искусственным кислотным дождем повторяли в течение 5 недель. Перед каждым новым орошением осуществляли сбор образцов. В общей сложности обработано около 50 образцов с каждой из дерновинок.

При отборе образцов *L. speciosa* фиксировали параметры климатических условий (температуру и влажность воздуха, освещенность). Уровень освещенности измеряли в трехкратной повторности с помощью люксметра «МЕГЕОН-21550». Эксперимент проводили при температуре – 24 – 27⁰С; влажность воздуха – 55%

Пигментный анализ образцов *L. speciosa*, испытавших кислотное воздействие, проводили в лаборатории ЦКП Тверского государственного университета. Содержание пигментов (Хл *a*, Хл *b*) определяли по общепринятой методике на фотоколориметре КФК-3-ЗОМЗ (Россия) при λ = 630, 647, 664 и 750 нм (ГОСТ 17.1.4.02-90; Мейсунова и др., 2021; Мейсунова и др. 2022). Для экстрагирования использовали ацетон (80%). Концентрацию Хл *a* рассчитали по формулам 1 и 2:

$$C_{\text{ха}} = 2,44 \frac{D_{664} - D_{664}^k}{D_{664}} C'_{\text{ха}} \quad (1),$$

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

где D₆₃₀, D₆₄₇, D₆₆₄ и D₇₅₀ – оптические плотности экстракта при λ = 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:

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

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.

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 внутри вида, коэффициенты корреляции) проведены стандартными методами с использованием лицензионных программных продуктов Microsoft Office Excel 2013 (Мейсурова и др., 2020).

Результаты и обсуждение. Пигментный анализ образцов *L. speciosa*, испытавших действие поллютантов в виде искусственного дождя, показал следующие результаты (табл. 1). Так во всех образцах *L. speciosa*, которые опрыскивали разбавленной HNO₃, отмечено снижение содержание пигментов (Хл *a*, Хл *b*) по сравнению с фоновыми значениями (рис. 1). Если суммарное содержание хлорофиллов ($a+b$) в фоновой зоне составило 6,83 мг/г, то спустя 5 недель после воздействия, его содержание снизилось в 12 раз и составило всего 0,58 мг/г.

Величина соотношения хлорофиллов (a/b) в первые недели воздействия увеличилась по сравнению с фоном с 2,9 до 3,8 после второго орошения. Анализ образцов *L. speciosa*, испытавших воздействие разбавленной HNO₃ в последующие недели (3–5 недели) показал, снижение величины соотношения хлорофиллов (a/b) на фоне общего снижения содержания пигментов (рис. 2). Значение величины соотношения хлорофиллов (a/b) в образцах *L. speciosa* в конце эксперимента (после 5 раза) стало ниже фонового значения – 2,6. Известно, что величину соотношения хлорофиллов (a/b) рассматривают в качестве одного из показателей фотосинтетической активности, а при стрессовых условиях используют как маркер устойчивости. Изменение величины соотношений хлорофиллов (a/b) свидетельствует об адаптации работы фотосинтетического аппарата при воздействии на образцы поллютантами в результате разрушения пигментного фонда.

Выяснено, что на протяжении всего времени воздействия, содержание Хл *a* остается выше, чем Хл *b*. В результате воздействия поллютанта снижение содержания Хл *a* происходит быстрее, чем содержание Хл *b*. По сравнению с фоном, концентрация Хл *a* уменьшилась в 12 раз – с $5,10 \pm 0,1$ мг/г до $0,42 \pm 0,1$ мг/г; концентрация Хл *b* в 10 раз – с $1,73 \pm 0,6$ мг/г до $0,16 \pm 0,2$ мг/г. Отметим, что наибольшее снижение содержания Хл *a* и Хл *b* в образцах *L. speciosa*

произошло на третьей недели воздействия разбавленной HNO_3 . В последующие недели воздействия поллютанта, снижение содержания пигментов происходит медленнее.

Таблица 1

Сравнительный анализ среднего содержания пигментов в образцах *L. speciosum* при воздействии разных поллютантов (HNO_3 и H_2SO_4)

№	HNO_3				H_2SO_4			
	Хл а, мг/г	Хл б, мг/г	Хл а+б	Хл а/б	Хл а, мг/г	Хл б, мг/г	Хл а+б	Хл а/б
0	5,10±0,1	1,73±0,6	6,83±0,4	2,9±0,3	6,66±0,1	3,6±0,1	10,26±0,4	1,8±0,2
1	4,87±0,5	1,31±0,4	6,18±0,4	3,7±0,5	4,83±0,2	2,08±0,3	6,91±0,2	2,3±0,1
2	3,97±0,5	1,03±0,4	5,00±0,5	3,8±0,2	3,16±0,2	1,11±0,4	4,27±0,3	2,8±0,5
3	2,02±0,3	0,58±0,1	2,6±0,6	3,5±0,4	2,56±0,2	1,01±0,2	2,66±0,6	2,5±0,3
4	1,52±0,1	0,46±0,1	1,98±0,1	3,3±0,3	1,78±0,1	0,80±0,3	2,58±0,4	2,2±0,3
5	0,42±0,1	0,16±0,2	0,58±0,2	2,6±0,4	1,01±0,1	0,58±0,1	1,59±0,1	1,7±0,4

Снижение содержания пигментов при воздействии разбавленной HNO_3 сопровождается морфологическими изменениями. Образцы *L. speciosa* меняли окраску от желто-зеленого до желтого. Сама дерновинка под воздействием разбавленной HNO_3 становилась более разреженной.

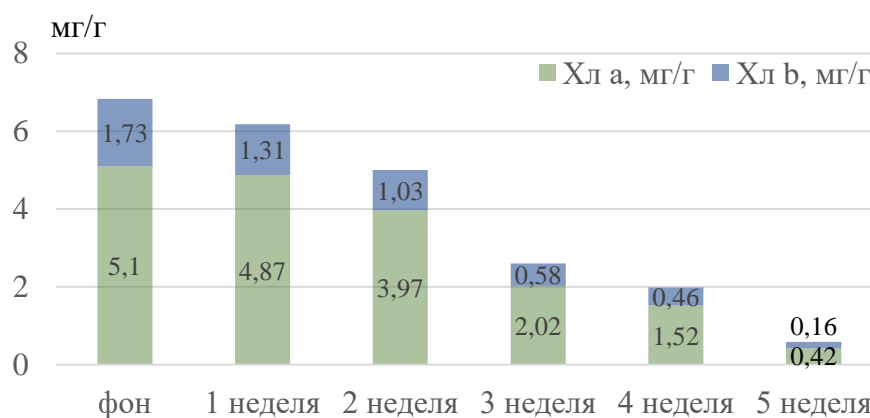


Рис. 1. Изменение содержания фотосинтетических пигментов в образцах *L. speciosa*, испытавших воздействие HNO_3 в течение 1–5 недель

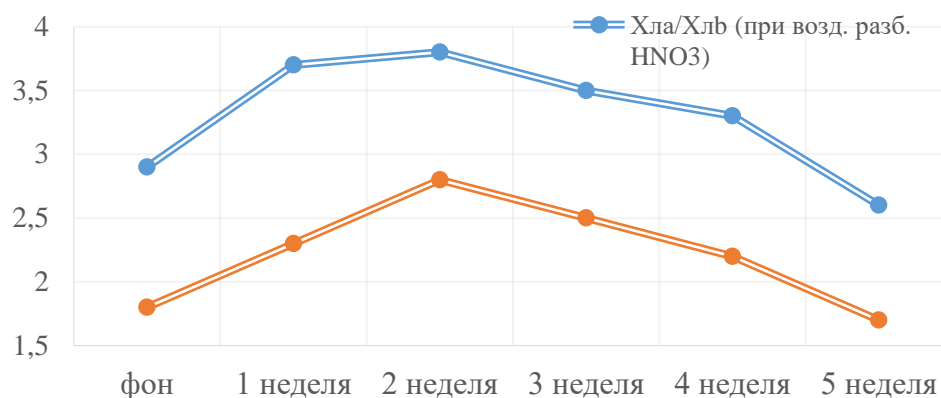


Рис. 2. Изменение величины соотношения хлорофиллов (a/b) в образцах *L. speciosa*, испытывавших воздействие HNO₃ и H₂SO₄ в течение 1–5 недель

Анализ образцов *L. speciosa*, испытывавших воздействие разбавленной H₂SO₄, показал снижение содержания пигментов (Хл *a*, Хл *b*) по сравнению с нормой (рис. 3). Суммарное содержание хлорофиллов ($a+b$) к началу эксперимента составило 10,26 мг/г, а спустя 5 недель воздействия в модельных условиях снизилось в 6,5 раз и составила 1,59 мг/г. При воздействии разбавленной H₂SO₄ величина соотношения хлорофиллов (a/b) по сравнению с нормой увеличилась после второй недели орошения до значения 2,8, а после пятой недели орошения снизилась до значения 1,7 (рис. 2).

При воздействии разбавленной H₂SO₄ в образцах *L. speciosa* содержание Хл *a* всегда выше, чем Хл *b*. Выявлено сходное снижение содержания Хл *a* и Хл *b*. По сравнению с фоном концентрации Хл *a* и Хл *b* уменьшились в 6,6 и 6,2 раза соответственно, что значительно меньше, чем при воздействии разбавленной HNO₃ (рис. 3; табл. 2). Существенное уменьшение содержания Хл *a* и Хл *b* в образцах *L. speciosa* произошло на первой неделе воздействия разбавленной H₂SO₄. При дальнейшем воздействии поллютанта уменьшение содержания пигментов происходит медленнее.

Уменьшение содержания пигментов при воздействии разбавленной H₂SO₄ сопровождается сходными морфологическими изменениями, как и в опыте с HNO₃. Однако окраска изменяется быстрее при воздействии HNO₃ (уже на второй неделе), а с H₂SO₄ – только на третьей неделе. С течением времени дерновинка под воздействием разбавленной кислоты стала более рыхлой, некоторые побеги отмирали.

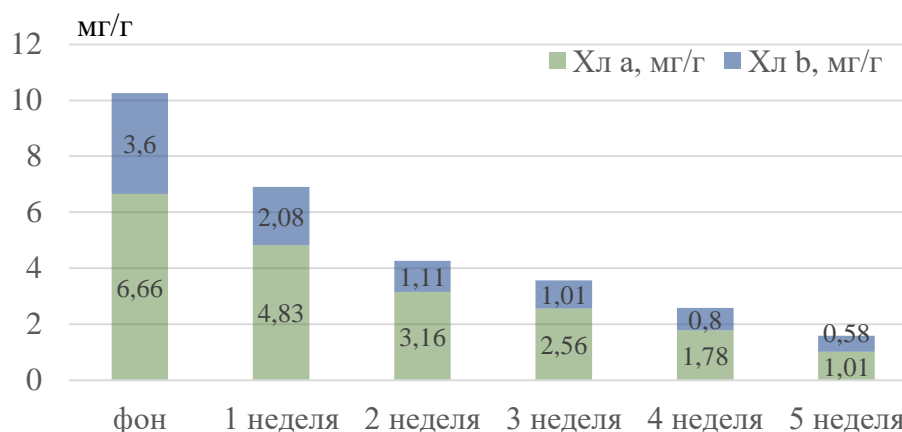


Рис. 3. Изменение содержания фотосинтетических пигментов в образцах *L. speciosa*, испытавших воздействие H_2SO_4 в течение 1-5 недель

Таким образом, под воздействием разбавленных кислот (HNO_3 , H_2SO_4) в образцах *L. speciosa* происходит снижение содержания пигментов по сравнению с фоновыми значениями. Выявлено двухкратное различие в суммарном содержании пигментов в образцах *L. speciosa* по сравнению с фоном в зависимости от вида поллютанта. Так под действием разбавленной HNO_3 суммарное содержание хлорофиллов ($a+b$) снизилось в 12 раз; H_2SO_4 – в 6,5 раз. Установлено, сходное изменение величины соотношений хлорофиллов (a/b) при воздействии разных поллютантов: в первые две недели воздействия отмечено ее увеличение, в последующие недели воздействия происходит ее снижение, достигая значений ниже фоновых к концу эксперимента. Изменение величины соотношения хлорофиллов (a/b) отражает адаптационные процессы в фотосинтетической системе и сопряжено с разрушением пигментного фонда под воздействием поллютантов. Выяснено, что скорость снижения Хл *a* в результате воздействия поллютантов всегда выше, чем скорость снижения Хл *b*. Однако в зависимости от поллютанта, скорости снижения концентраций хлорофиллов отличаются. Если при воздействии разбавленной HNO_3 скорость снижения концентрации Хл *a* выше, чем Хл *b*, то при воздействии H_2SO_4 – скорость снижения концентраций Хл *a* и Хл *b* примерно одинаковая. Снижение содержания пигментов сопровождается изменениями окраски от зеленой до желто-зеленой и желто, а также уменьшением плотности дерновинки. Скорость проявления морфологических изменений выше при воздействии разбавленной H_2SO_4 . Однако, в целом, следует отметить, что к действию разбавленной HNO_3 *L. speciosa* особенно чувствительна, что согласуется с данными анализов, полученных ранее другими

методами. Проведенный Фурье-ИК спектральный анализ образцов мхов, собранных на сходной территории, показали наличие изменений в химическом составе, которые обусловлены присутствием в воздухе, прежде всего, диоксида азота (Бревдо, Мейсурова, 2022).

В дальнейшем, актуальны исследования ориентированные на сопряженный анализ содержания фотосинтетических пигментов в зависимости от концентрации других поллютантов, которые активно поглощаются мхами.

Заключение. Результаты моделирования кислотного загрязнения воздушной среды разными поллютантами показали высокую чувствительность фотосинтетической системы к их воздействию. Поллютанты вызывают стрессовую реакцию, в результате которой происходит существенное снижение содержания хлорофиллов ($a+b$) в образцах *L. speciosum*. Оно сопровождается изменением окраски. Более выражена реакция на кислотные поллютанты у Хл *a*. К разбавленной HNO_3 образцы *L. speciosum* более чувствительны, чем к H_2SO_4 .

Список литературы

- Анищенко Л.Н. 2012. Биоиндикация 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.
- Баженов А.В., Шавнин С.А. 1994. Оценка степени поражения фотосинтеза сосны обыкновенной аэротехногенными выбросами // Экология. № 4. С. 89-91.
- Балакирев И.В., Никишова А.С., Ильякова Е.Е., Липник С.И. 2013. Применение методов биоиндикации при экологическом мониторинге объектов добычи газа // Вести газовой науки. № 2(13), С. 118-121.
- Боженко Н.П. 2015. Роль эпифитных мхов в накоплении загрязнителей атмосферы // Творчество юных – шаг в успешное будущее. Томск. С. 216-218.
- Бревдо Е.Ю., Мейсурова А.Ф. 2022. Биоиндикационные возможности *Nyholmiella obtusifolia* при оценке состояния воздушной среды // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3(67). С. 145-156.
- Воронина О.Е., Ефимцев Е.И., Татарина Т.А. 1999. Пигментный аппарат растений в условиях антропогенного воздействия // Вестн. Московского государственного университета леса. № 2. С. 82.
- Ворошилова А.Е. 2017. Использование растений в качестве тест-объектов биоиндикации при изучении экологических дисциплин // Конкуренентоспособность территорий: материалы XX Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. Екатеринбург. С. 36-38
- Выходцева И.С., Рылова Т.А. 2015. Биоиндикация как метод оценки

- окружающей среды: актуальность и перспективы исследования // Вестник ландшафтной архитектуры. № 6. С. 44-47.
- Гордеева И.В. . 2016. Использование элементов научно-исследовательской деятельности при обучении дисциплинам экологического профиля // Nauka-Rastudent.ru. № 4. С. 14
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. 2010. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. Контроль качества воды: Сб. ГОСТов. М.: Стандартинформ.
- Завалий А.А., Стрельников И.И. 2017. Оценка использования дескрипторов формы листьев в целях биоиндикации на примере *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. // Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых. Том 2 / под общей редакцией С.В. Беспаловой. С. 69-71.
- Израэль Ю.А. 1984. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат. 560 с.
- Корейкин А.А. 2007. Влияние загрязнения атмосферы на видовой и количественный состав мхов г. Чебоксары // Вестник Мордовского университета. № 4. С. 116-118.
- Межибор А.М., Большунова Т.С. 2014. Биогеохимическая характеристика сфагновых мхов и эпифитных лишайников в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области // Известия Томского политехнического университета. Т. 325. № 1. С. 205-213.
- Межибор А.М., Большунова Т.С. 2014. Биогеохимическая характеристика сфагновых мхов и эпифитных лишайников в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области // Известия Томского политех. ун-та. № 1. С. 205-213.
- 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 *Hypogymnia physodes* при разном уровне содержания металлов // Журн. 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 *Hypogymnia physodes* в разных фитоценозах // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 87. № 5. С. 816-827.
- Мейсурова А.Ф., Суворова А.А., Бревдо Е.Ю. 2022. Сравнительный анализ содержания фотосинтетических пигментов у некоторых видов мхов в рекреационных зонах города Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3. С. 157-169.

- Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.* 2016. Фурье-ИК спектральный анализ атмосферного загрязнения с использованием лишайников. Тверь: ТвГУ. 159 с.
- Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.* 2009. ИК спектральный анализ химического состава лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. как метод оценки состояния атмосферы // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 76. № 3. С. 447-453.
- Мостальгина Л.В., Елизарова С.Н., Костин А.В.* 2020. Сорбционная способность мхов и лишайников Зауралья по отношению к ионов свинца // Химия растительного сырья. № 3. С. 315-321.
- Нотов А.А.* 2007. Материалы к флоре национального парка «Завидово» // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. Вып. 6. С. 163-205.
- 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.
- Омарова Н.М., Ташенков А.К., Нуркасымова М.У., Кокораева А.К.* 2019. Исследование состава мха – естественного биоиндикатора для мониторинга воздуха Восточно-Казахстанской области // Вестник Международного университета природы общества и человека «Дубна». № 1(42). С. 19.
- Онофрейчук О.Н., Злыднев А.А., Анищенко Л.Н.* 2017. Эколого-физиологические особенности видов лишено- и бриобиоты как комплексный показатель биомониторинга // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем материалы XV Всероссийской науч.-практ. конференции с международным участием. Т. 1 / отв. редактор Т. Я. Ашихмина. Киров. С. 190.
- Пивякин Г.Г., Пилов П.И., Пилова Е.П.* 2012. Снижение выбросов оксида серы и при использовании на тепловых электростанциях обогащенного угля // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии № 3, частн. Предприятие «Научно-производственная внедренческая компания «Триако». С. 60
- Сафронова Д.Р., Бауков А.М., Ерофеева Т.В.* 2022. Использование лишайников в биоиндикации // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты: материалы Национальной науч.-практ. конф.. Рязань. С. 131-134.
- 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.
- Цеплая Е.А.* 2022. Биоиндикационный мониторинг Горловско-Енакиевского промышленного конгломерата Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Т 1. № 14. С. 109-114.
- Чайка Е.А., Князев В.Н.* 1993. Способ очистки дымовых газов от золы, оксидов серы и оксидов азота // Всесоюзный гос. научно-исследовательский и проектно-изыскательный институт «Теплоэлектропроект». СССР. С. 4

THE RESULTS OF MODELLING THE ACID POLLUTION IMPACT ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF THE *LEWINSKY SPECIOSA* MOSS

A.F. Meysurova, E.Yu. Brevdo

Tver State University, Tver

The article analyses the acid pollutants impact on the photosynthetic system of the epiphytic moss *Lewinskya speciosa* Nees. It is found out that the impact of pollutants causes a significant decrease in the content of chlorophylls (a+b) that is accompanied by external morphological changes. A twofold difference is found in the total content of pigments compared to the background, depending on the type of pollutants. The quantity of the chlorophyll ratio (a/b), as a reflection of the adaptation processes, increases in the first two weeks and decreases in the following, hitting the mark below the background. Cl a is mostly sensitive to pollutants. According to a thorough research, it is the epiphytic mosses *L. speciosum* that are more susceptible to HNO₃ aerosol effect than H₂SO₄.

Keywords: *bioindication, bryoindication, Tver, pigment analysis, Lewinskya speciosa, pollutants, model experiment, sulfuric acid, nitric acid, air pollution, chlorophyll.*

Об авторах:

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

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

Мейсурова А.Ф. Результаты моделирования воздействия кислотного загрязнения на фотосинтетический аппарат мха *Lewinskya speciosa* / А.Ф. Мейсурова, Е.Ю. Бревдо // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2023. № 1(69). С. 276-286.

Дата поступления рукописи в редакцию: 23.01.23

Дата подписания рукописи в печать: 01.03.23