

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 574.2: 582.34 (470.331)

DOI: 10.26456/vtbio272

### **БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МХА *NYHOLMIELLA OBTUSIFOLIA* ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

**Е.Ю. Бревдо, А.Ф. Мейсунова**

Тверской государственной университет, Тверь

В рекреационных зонах г. Твери выяснена возможность использования мха *Nyholmia obtusifolia* (Brid.) Holmen et E. Warncke. (*Orthotrichum obtusifolium* Brid.) в биомониторинге состояния воздушной среды. Число выводковых телец на его листьях изменяется в зависимости от уровня загрязнения атмосферного воздуха. Оно уменьшается при повышении уровня загрязнения воздуха поллютантами. В Заволжском районе г. Твери, где обнаружены наиболее высокие значения коэффициента токсичности автомобилей ( $K_T$ ) и концентрации оксида углерода (II) ( $K_{CO}$ ), число выводковых телец на одном листе выше в 3 раза, чем в Центральном районе. С помощью Фурье-ИК спектроскопии в образцах из Заволжского района выявлены изменения химического состава, обусловленные присутствием в воздушной среде поллютанта, источником которого является автотранспорт.

**Ключевые слова:** биоиндикация, бриоиндикация, Тверь, Фурье-ИК спектроскопия, *Nyholmia obtusifolia*, загрязнение атмосферы, выводковые тельца, поллютанты.

**Введение.** Одним из эффективных способов оценки состояния окружающей среды является биоиндикационный метод (Шуберт, 1988; Выходцева, 2015; Омарова, 2019). В качестве биоиндикаторов активно используют лишайники, водоросли, голосеменные и цветковые растения (Мейсунова и др., 2009; Балакирев, 2013; Гордеева, 2016; Ворошилова, 2017; Завалий, 2017; Сафронова, 2022). Относительно недавно для осуществления биомониторинговых исследований в качестве объекта стали использовать моховидные, а само направление биоиндикации получило название – бриоиндикация (Анищенко, 2009). Благодаря высокоразвитой поверхности моховой покров является хорошим сорбентом, а низкий уровень метаболизма способствует накоплению различных поллютантов (Отнюкова, 2012; Мосталыгина, 2020). У мхов отсутствуют специализированные покровные ткани, у большинства представителей не происходит ежегодного обновления фотосинтезирующего аппарата (Межибор, 2014; Мосталыгина, 2020).

Отсутствие корневой системы также делает мхи удобным объектом биомониторинга состояния воздушной среды, поскольку исключает влияния других источников, кроме атмосферных выделений. Кроме этого, мхи могут расти в условиях сильного атмосферного загрязнения атмосферы. Отмечено, что поглощение поллютантов в них в меньшей степени зависит от климатических условий, по сравнению с лишайниками (Вардуни, 2015).

С помощью бриоиндикации проводили оценку состояния воздушной среды в Прибайкалье, Приволжье, Калининградской области (Корейкин 2007; Межибор, 2014; Боженко, 2015). Выяснено, что в условиях влияния антропогенных факторов меняется их морфологическая структура (Ignatov, 2007; Osakabe, 2014). Например, установлено изменение числа и строения парафиллиев у *Leskea polycarpa* Hedw. в условиях стресса (Спирина, 2017; Spirina, 2019). Перспективным объектом в бриоиндикации может быть мох *Nyholmiella obtusifolia* (Brid.) Holmen et E. Warncke., для которого ранее использовали название *Orthotrichum obtusifolium* Brid. (Федосов, 2018; Плантариум..., 2022). У данного вида образуются специальные органы вегетативного размножения – выводковые тельца, которые представляют собой многоклеточные однорядные структуры, состоящие из 4–7 плоских, эллиптических или удлинённых клеток, образующиеся на обеих сторонах листа (Игнатьев, 2003; Ignatov, 2007). Число выводковых телец может меняться в зависимости от разных факторов, в том числе антропогенных. Однако характер изменения числа выводковых телец при различных уровнях загрязнения окружающей среды изучен недостаточно.

*N. obtusifolia* широко распространена в Тверской области (Нотов и др., 2002). В качестве модельной территории для оценки возможностей применения его в целях бриоиндикации атмосферного загрязнения целесообразно использовать административный центр области город Тверь. В нем при хорошо развитой промышленной инфраструктуре сохранились крупные по площади участки с фрагментами естественной растительности, которые включены в состав особо охраняемых природных территорий (ООПТ), много также парков и скверов (Цыганов, 2019) В городе неоднократно проводили экологические исследования, что позволяет сопоставлять данные с результатами полученными другими способами (Мейсунова и др., 2009, 2011; Мейсунова, Нотов, 2016; Мейсунова, 2017 и др.).

Целью работы – изучение морфологических характеристик эпифитного мха *N. obtusifolia* в урбоэкосистемах г. Твери с разным уровнем загрязнения. Задачи: 1) определить пункты сбора материала с разными уровнями антропогенной нагрузки и загрязнения среды; 2) выявить характер закладки и формирования выводковых телец у *N. obtusifolia*; 3) выявить зависимость морфологической структуры и

числа—выводковых телец от уровня загрязнения воздушной среды;  
4) оценить индикаторные возможности вида в биомониторинге.

**Материал и методы.** Объектом исследования стали образцы мха *N. obtusifolia*. Сбор материала проведен в 2019–2020 гг. в Заволжском и Центральном районах города Твери (рис. 1; табл. 1). Местом отбора образцов были зеленые насаждения вдоль крупных магистралей с интенсивным движением автотранспорта. При выборе пунктов отбора (ПО) учитывали природные условия, возможность произрастания *N. obtusifolia* в этих местообитаниях, а также особенности хозяйственно-промышленной инфраструктуры и сети автотранспортных путей (Цыганов, 2019). Общее число ПО составило 9. Выделенные ПО различаются по уровню загрязнения воздуха отработанными газами автотранспорта и концентрации оксида углерода, (Вронский, 1996; Сердюкова, 2018). Значения коэффициента токсичности автомобилей ( $K_T$ ) и концентрации оксида углерода (II) ( $K_{CO}$ ) в Заволжском районе (ПО 1–5) выше, чем в Центральном (ПО 6–9) (табл. 1).

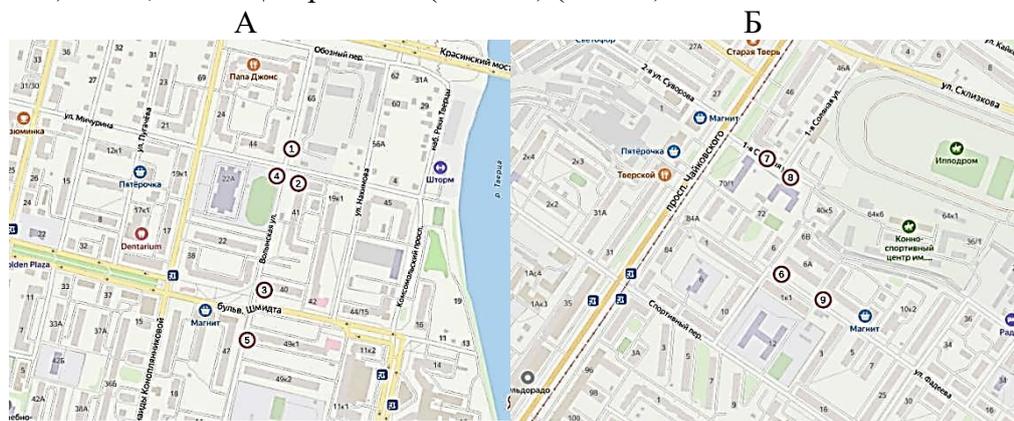


Рис. 1. Схема расположения пунктов отбора (ПО 1–9) образцов *N. obtusifolia* в Заволжском (А) и Центральном (Б) районах г. Твери

В пределах каждого ПО отбирали нормально развитые дерновинки *N. obtusifolia*, из которых было взято по 25 побегов для изучения листьев срединной формации (Бревдо и др., 2022). Общее число изученных образцов составило свыше 220. У каждого листа было выявлено общее число выводковых телец и плотность их размещения. Кроме этого, определены размерные характеристики и число клеток у каждого выводкового тельца. Изучение и обсчет перечисленных параметров выполнен с применением компьютерной программы INFINITY ANALYZE and CAPTURE for Windows v 5.0.2. (Luminera Software). Результаты анатомо-морфологических исследований фиксировали в виде микрофотографий (разрешение  $\times 160$ , фотоаппарат).

Для оценки изменений в химическом составе собранных образцов в условиях загрязнения воздушной среды использовали Фурье-ИК спектральный анализ. Для записи ИК спектров применяли стандартную методику приготовления таблеток с бромидом калия (KBr) (Duraees et al., 2008; Мейсунова и др., 2011, 2014).

Таблица 1  
Характеристика пунктов отбора (ПО) образцов *N. obtusifolia* в г. Твери

ПО	Расположение	Координаты	Источники загрязнения		$K_T$	$K_{CO}$
			автотранспорт (АТ)	промышленность и другие		
Заволжский р-н						
1	ул. Волынская, д. 65	56.874827 с.ш., 35.911112 в.д.	АТ	ООО «Тверьспецавтохозяйство», Тверской консервный завод	1,88	46,61
2	ул. Мичурина, д. 41	56.874367 с.ш., 35.911117 в.д.	АТ	ООО «Тверьспецавтохозяйство», ООО "ТМП-СТРОЙ", Тверской консервный завод	1,67	55,81
3	б-р. Шмидта, д. 40	56.872570 с.ш., 35.910307 в.д.	АТ	ООО «ТМП-СТРОЙ», Тверской консервный завод	1,59	64,43
4	ул. З. Конопляниковой, д.22а	56.874432 с.ш., 35.910722 в.д.	АТ	ООО «ТМП-СТРОЙ», Тверской консервный завод,	1,78	49,50
5	б-р Шмидта, д. 49 к. 1	56.871781 с.ш., 35.909818 в.д.	АТ	ООО «ЭтанолЭко»	1,77	47,11
Центральный р-н						
6	ул. Фадеева, д. 6в	56.839756 с.ш., 35.901442 в.д.	АТ	ООО «Тверской Спектр», Завод готовых теплиц, ЖБИ-сервис-производство	1,15	9,07
7	ул. Садовая 1-я, д. 40/5	56.841003 с.ш., 35.902308 в.д.	АТ		1,30	7,33
8	пр. Чайковского, около д. 70/1	56.841275 с.ш., 35.901684 в.д.	АТ		1,21	7,70
9	ул. Фадеева, д. 8	56.839351 с.ш., 35.902619 в.д.	АТ	ЖБИ-сервис-производство	1,13	6,37

Запись ИК спектров образцов осуществляли на ИК-Фурье-спектрометр ФСМ 1202 «Инфраспек» (Россия). Повторность измерений ИК спектров каждого образца была трехкратной. Интерпретацию ИК спектров образцов осуществляли с помощью отечественных и зарубежных руководств по отнесению ИК полос поглощения (Смит, 1982; Infrared characteristic ..., 1994; Методы исследования ..., 2002; Pyashenko, 2011; Голубцова, 2016).

**Результаты и обсуждение.** Изучение морфологических особенностей образцов *N. obtusifolia* из ПО 1–9 показало, что число выводковых телец на листе варьирует от 1 (ПО 1) до 41 (ПО 7) (рис. 2). Среднее число выводковых телец, формирующихся на одном листе, меняется довольно сильно и составляет от 8 до 31 шт. на 1 листе.

Средняя плотность размещения выводковых телец на поверхности листа колеблется от 2 до 7 шт/мм<sup>2</sup> (ПО 6, 8–9).

Минимальная длина выводкового тельца в изученном материале составила 59 мкм, максимальная – 81 мкм. Средние размеры выводковых телец менялись незначительно: длина – от 64 до 74 мкм, ширина – от 24 до 31 мкм. Общее число клеток в пределах выводковых телец, в среднем составило от 4 до 6.

Минимальным числом выводковых телец и низкой плотностью их размещения характеризуются листья образцов из ПО 1. При этом размерные характеристики выводковых телец для образцов из этого пункта (линейные размеры и число клеток) не отличаются от таковых из других ПО.

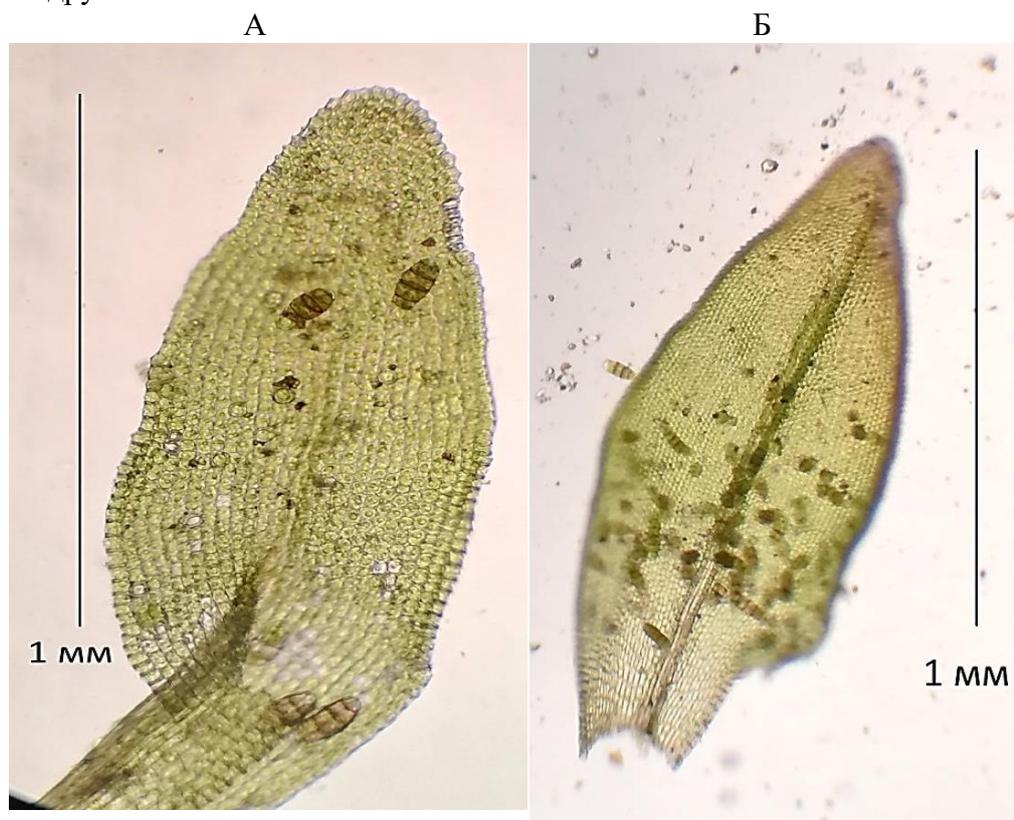


Рис. 1. Листья *N. obtusifolia* с выводковыми тельцами из ПО г. Твери:  
А – с единичными (ПО 2), Б – с многочисленными тельцами (ПО 8)

Наибольшее число выводковых телец отмечено в образцах из ПО 7. Однако плотность их размещения на листе не была максимальной. Наибольшая средняя плотность выводковых телец на листе отмечена в ПО 6, 8–9 (рис. 3).

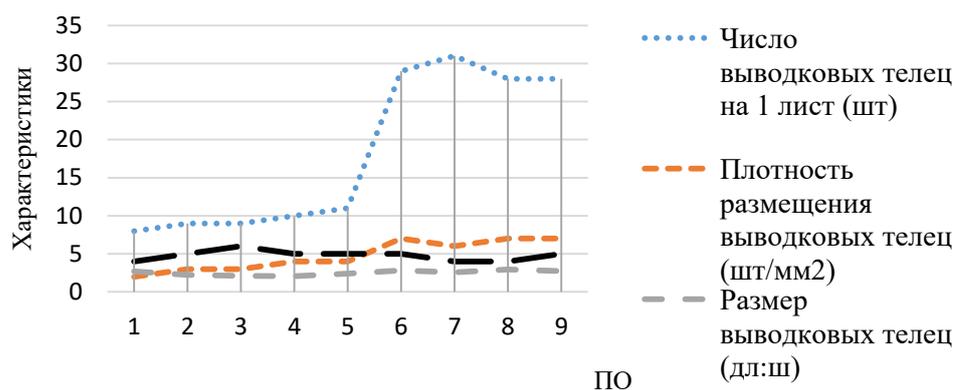


Рис. 3. Морфологические характеристики выводковых телец образцов *N. obtusifolia* из ПО 1–9 г. Твери

Сопоставление данных между средним числом выводковых телец и местом сбора образцов позволило ранжировать территории. По среднему числу выводковых телец на одном листе можно выделить два кластера: первый кластер составляют образцы с низкими значениями из Центрального района (ПО 6–9); второй кластер – с высокими значениями (больше в 3 раза) из Заволжского района (ПО 1–5). Согласно расчетным данным оценки уровня загрязнения воздуха отработанными газами автотранспорта, значения  $K_T$  и  $K_{CO}$  в Заволжском районе (ПО 6–9) выше, чем в Центральном районе (ПО 1–5):  $K_T$  – в 1,5 раза,  $K_{CO}$  – в 6,9 раза. Транспорт является источником не только окиси углерода, но других поллютантов – окиси азота и серы, углеводородов, формальдегида, бенз(а)пирена, соединений тяжелых металлов (Исаева, 2017; Сердюкова, 2018).

Результаты Фурье-ИК спектрального анализа показали наличие изменений в химическом составе образцов из ПО Заволжского района, обусловленные накоплением поллютанта (рис. 4). В ИК-спектрах образцов отмечены изменения на частоте  $1385\text{ см}^{-1}$ , вызванные колебаниями  $\nu_s(-O-NO_2)$ , а также  $875$  и  $779\text{ см}^{-1} - \delta(O-N-O)$  (Infrared characteristic ..., 1994; Мейсунова и др., 2006а, б, 2007; Мейсунова и др., 2011; Редькин, 2019). Изменения в ИК спектрах на данных частотах свидетельствует о наличии в образцах алкилнитратов ( $R-O-NO_2$ ). Они указывают на присутствие в воздухе диоксида азота (Гуревич, 1972). Источником диоксида азота в воздухе являются выбросы автотранспорта, высокую интенсивность которых подтверждают расчётные данные оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта по концентрации оксида углерода, где отмечены повышенные значения величин  $K_T$  и  $K_{CO}$  (табл. 1).

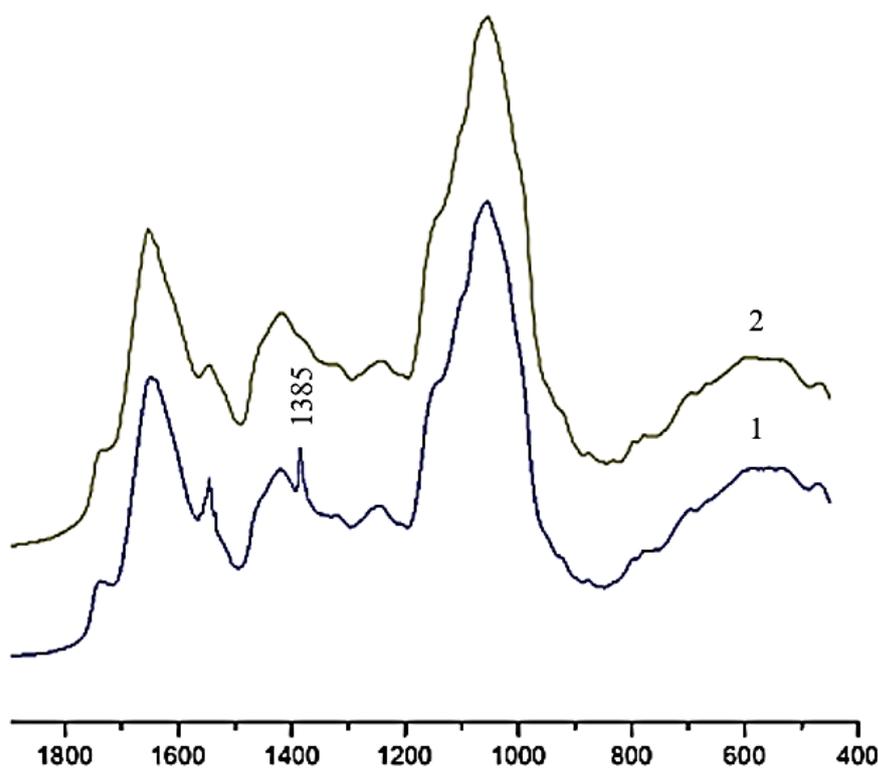


Рис. 2. ИК-спектры поглощения образцов *N. obtusifolia* из г. Твери:  
1 – ПО 4; 2 – ПО 7

Повышенные концентрации поллютантов в воздухе Заволжского района (ПО 6–9) по сравнению с Центральным (ПО 1–5) могут выступать в качестве ингибирующего фактора механизма закладки новых выводковых телец. Поскольку размерные характеристики выводковых телец и число клеток в их составе остаются относительно стабильными в независимости от мест сбора, то можно предположить, что процесс развития уже заложившихся морфологических структур относительно устойчив к загрязнению, в отличие от процесса регуляции их закладки.

Таким образом, анализ изменений морфологических структур образцов *N. obtusifolia* показал, что загрязнения воздушной среды влияет на процесс развития выводковых телец. Выяснено, что наибольшее число выводковых телец на одном листе характерно для образцов из местообитаний, в которых отмечены низкие значения Кт и Ксо – в ПО из Центрального района г. Твери. Согласно данным Фурье-ИК спектрального анализа, в ИК-спектрах этих образцов отсутствуют изменения химического состава, обусловленные накоплением

поллютантов. Наименьшее число выводковых телец в образцах из ПО Заволжского района, в которых зарегистрированы высокие значения Кт и Ксо. В ИК-спектрах образцов из этих пунктов выявлены изменения на частотах 1385 ( $\nu_s(-O-NO_2)$ ), 875 и 779  $cm^{-1}$  ( $\delta(O-N-O)$ ), связанные с наличием в них алкилнитратов ( $R-O-NO_2$ ), образующихся в результате поглощения мхами широко распространенного поллютанта – диоксида азота, сопряженного с выбросами автотранспорта. Такие параметры, как размерные характеристики выводковых телец и число клеток, входящих в их состав, осталось неизменным вне зависимости от места сбора. В этой связи, в биомониторинговых исследованиях состояния среды целесообразно использование, прежде всего, такого показателя как среднее число выводковых телец на одном листе.

В дальнейшем, актуально продолжение исследований, ориентированных на сопряженный анализ изменения среднего числа выводковых телец на одном листе в зависимости от содержания конкретных поллютантов, например, тяжелых металлов, которые активно поглощаются мхами в условиях техногенного загрязнения среды. Особый интерес представляет также выяснение возможностей использования других биоиндикаторных видов мхов.

**Заключение.** В биомониторинге загрязнения атмосферы с использованием мха *N. obtusifolia* целесообразен анализ, прежде всего, среднего числа выводковых телец на одном листе вида. Установлена зависимость между этим параметром и уровнем загрязнения воздуха. Чем выше уровень загрязнения воздуха, тем меньше среднее число выводковых телец на одном листе. Размерные характеристики выводковых телец и число клеток, входящих в их состав, остаются стабильными в независимости от состояния воздушной среды.

#### **Список литературы**

- Анищенко Л.Н. 2009. Бриоиндикация общего состояния атмосферы городской экосистемы (на примере г. Брянска) // Экология. № 4. С. 264-270.
- 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.
- Биоиндикация загрязнений наземных экосистем 1988 / под ред. Р. Шуберта. М. 350 с.
- Бревдо Е.Ю., Мейсурова А.Ф., Спирина У.Н. 2022. Морфологические особенности *Orthotrichum obtusifolium* Brid в условиях загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта // ХимБиоSeasons-2022: сборник тезисов докладов форума молодых исследователей. Калининград: Балтийский федеральный университет им. И. Канта. С. 7.
- Боженко Н.П. 2015. Роль эпифитных мхов в накоплении загрязнителей атмосферы // Творчество юных – шаг в успешное будущее. Томск.

С. 216-218.

- Вардуни Т.В., Минкина Т.М., Горбов С.Н.* 2015. Анализ содержания тяжелых металлов в пилезии многоцветковой (*Pylaisia polyantha*), произрастающей в г. Ростов-на-Дону // Научный журнал КубГАУ. № 106(02). С. 77-90.
- Ворошилова А.Е.* 2017. Использование растений в качестве тест-объектов биоиндикации при изучении экологических дисциплин // Конкурентоспособность территорий: материалы XX Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов / отв. за выпуск Я.П. Силин, Е.Б. Дворякина. Екатеринбург. С. 36-38
- Вронский В.А.* 1996. Прикладная экология. Ростов н/Д.: Феникс. 512 с.
- Выходцева И.С., Рыхлова Т.А.* 2015. Биоиндикация как метод оценки окружающей среды: актуальность и перспективы исследования // Вестник ландшафтной архитектуры. № 6. С. 44-47.
- Голубцова Ю.В.* 2016. Изучение возможности применения метода ИК-Фурье-спектроскопии для идентификации плодово-ягодного сырья в многокомпонентных пищевых системах // Успехи современного естествознания. № 10. С. 20-24.
- Гуревич И.Л.* 1972. Технология переработки нефти и газа. Часть первая. М.: изд-во «Химия». С. 360.
- Завалий А.А., Стрельников И.И.* 2017. Оценка использования дескрипторов форматов формы листьев в целях биоиндикации на примере *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизованная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: материалы Межд. науч. конф., Донецк, 17-20 октября 2017 (Донецк): Донецкий национальный университет. С. 69-71.
- 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 докл. Всерос. науч. конф., Москва, 20–22 марта 2017 г. М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. С. 572-573.
- Игнатов М.С., Игнатова Е.А.* 2003. Флора мхов средней части Европейской России. Т.1: Sphagnaceae – Hedwigiaceae. М.: КМК. 680 с. (Arctoa; Т. 11, приложение 1).
- Исаева С.Э., Оказова З.П.* 2017. Анализ методов биотестирования, применяемых для оценки состояния окружающей среды // Успехи современной науки. № 7. С. 80-83.
- 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.
- Мейсунова А.Ф.* 2017. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в

- г. Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 2. С. 324-342.
- 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., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.* 2009. ИК спектральный анализ химического состава лишайника *Nurogymnia physodes* (L.) Nyl. как метод оценки состояния атмосферы // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 76. № 3. С. 447-453.
- 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.
- Методы исследования древесины и ее производных / под ред. Н.Г. Базарновой. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2002. С. 160
- Нотов А.А., Спирина У.Н., Игнатова Е.А., Игнатов М.С.* 2002. Листостебельные мхи Тверской области (средняя полоса Европейской России) // Агстоа. 2002. Т. 11. С. 297-332.
- Мостальгина Л.В., Елизарова С.Н., Костин А.В.* 2020. Сорбционная способность мхов и лишайников Зауралья по отношению к ионам свинца // Химия растительного сырья. № 3. С. 315-321.
- 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
- Отнюкова Т.Н., Дутбаева А.Т., Жижаев А.М.* 2012. Особенности биоразнообразия эпифитного покрова и элементного состава древесного субстрата и мхов в условиях различного уровня загрязнения // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 3. С. 85-90.
- Плантариум.* Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений 2022: [электрон. ресурс]. URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/90979.html> (дата обращения: 04.10.2022).
- Редькин Н.А.* 2019. ИК-Фурье спектроскопия и масс-спектрометрия в идентификации органических соединений: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самарского университета. 92 с.
- 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. / Рязанский государственный агрономический университет им. П.А. Костычева. Рязань. С. 131-134.
- Сердюкова А.Ф., Барабаницкова Д.А.* 2018. Влияние автотранспорта на окружающую среду // Молодой ученый. № 25(211). Казань. С. 31-33.
- Спирина У.Н., Игнатов М.С., Воронкова Т.В.* 2017. Морфогенез парафиллиев в разных группах бокоплодных мхов // Биоразнообразие: подходы к

- изучению и сохранению: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию каф. ботаники Тверского гос. ун-та (г. Тверь, 8–11 ноября 2017 г.). Тверь: Твер. гос. ун-т. С. 379-381.
- 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.
- Цыганов А.А. 2019. Оценка состояния окружающей среды города Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. География и геология. № 2 (26). С. 56-77.
- Duraees N., Bobos I., Ferreira da Silva E. 2008. Chemistry and FT-IR spectroscopic studies of plants from contaminated mining sites in the Iberian Pyrite Belt // Portugal Mineralogical Magazine. V. 72. № 1. P. 405-409.
- Ignatov M.S., Hedenäs L. 2007. Homologies of stem structures in pleurocarpous mosses, especially of pseudoparaphyllia and similar organs // Pleurocarpous mosses: systematic and evolution / eds. A.E. Newton, R. Tangery. Boca Raton, FL: CRC Press. P. 269-286.
- Infrared characteristic group frequencies. Tables and Charts 1994. / ed. G. Socrates. London: John Wiley & Sons. 256 p.
- Ilyashenko N.V., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M. 2011. Effect of anthropogenic factor on the content of biologically active compounds in *Bidens tripartita* L. And *Potentilla erecta* L. // International Conference «Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, Medicine», June 21–24, 2011: Book of abstracts. Saint-Petersburg. P. 265-266.
- Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L.S. 2014. Response of plants to water stress. Front. Plant Sci. V. 5. P. 86. doi.org/10.3389/fpls.2014.00086.
- Spirina U.N., Voronkova T.V., Ignatov M.S. 2019. Once again on moss paraphyllia // Plant anatomy: traditions and perspectives: materials of the International Symposium dedicated to the 90th anniversary of Prof. L.I. Lotova, Sept. 16–22, 2019. M.: MAKS Press. Part 1: Contributions in English / ed. A.C. Timonin, D.D. Sokoloff. P. 237-238.

**BIOINDICATION CAPABILITIES  
OF MOSS *NYHOLMIELLA OBTUSIFOLIA*  
WHEN ASSESSING THE STATE OF THE AIR ENVIRONMENT**

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

The possibility of using the moss *Nyholmiella obtusifolia* (Brid.) Holmen et E. Warncke (*Orthotrichum obtusifolium* Brid.) in air biomonitoring of the recreational areas in the city of Tver has been clarified. The number of brood bodies on its leaves varies depending on the level of air pollution. It decreases with an increase in the level of air pollution by pollutants. In the Zavolzhsy district of Tver, where the highest values of the coefficient of toxicity of cars (CT) and the concentration of carbon monoxide (II) (CSR)

were found, the number of brood bodies on one leaf is 3 times higher than in the Central region. Changes in the chemical composition due to the presence of a pollutant in the air, the source of which is vehicles were revealed with the help of Fourier-IR spectroscopy in samples from the Zavolzhsky part of Tver.

**Keywords:** *bioindication, bryoindication, Tver, FTIR-spectroscopy, Nyholmiella obtusifolia, atmospheric pollution, brood corpuscles, pollutants.*

*Об авторах:*

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

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.

Бревдо Е.Ю. Биоиндикационные возможности мха *Nyholmiella obtusifolia* при оценке состояния воздушной среды / Е.Ю. Бревдо, А.Ф. Мейсунова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. № 3(67). С. 145-156.