

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 582.29:543.42

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ВОЗДЕЙСТВИЯ СУЛЬФАТА АММОНИЯ НА ИНДИКАТОРНЫЕ ЛИШАЙНИКИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ФУРЬЕ-ИК СПЕКТРОСКОПИИ

А.Ф. Мейсурова

Тверской государственный университет

Методом Фурье-ИК спектроскопии проанализированы некоторые индикаторные виды лишайников, испытавшие воздействие сульфата аммония ((NH₄)₂SO₄). Установлено, что под влиянием этого вещества в лишайниках появляются сульфоны (R-SO₂R), сульфаты (R-O-SO₂-R₁) и аммонийная соль (R-COONH₄). Комбинация типов образуемых соединений зависит от видовой специфичности и концентрации поллютанта. Количественная оценка содержания соединений и анализ морфологических изменений позволили оценить индикаторную способность исследованных видов лишайников по отношению к (NH₄)₂SO₄.

Ключевые слова: *Фурье-ИК спектроскопия, индикаторные виды лишайников, поллютант, сульфат аммония, аммиак, серная кислота, загрязнение атмосферы.*

Введение. Эпифитные лишайники – универсальные индикаторы состояния окружающей среды, в том числе и атмосферы. При воздействии поллютантов меняется видовой состав и структура эпифитных лишайников, анатомо-морфологические характеристики, ход физиолого-биохимических процессов, происходят изменения в химическом составе слоевищ лишайников [1; 5; 11]. Наиболее полно исследованы реакции лишайников на диоксиды серы и азота (SO₂, NO₂), озон (O₃), фтороводород (HF) [1; 2]. Сведения о воздействии аммонийных соединений фрагментарны [11; 20; 23; 26–28]. Их присутствие в атмосфере связывают, прежде всего, с развитием сельского хозяйства [11; 12; 19]. Аммонийные соединения могут вызвать щелочное загрязнение воздуха. Типичным поллютантом является аммиак (NH₃), который под воздействием атмосферной влаги преобразуется в ионы аммония (NH₄⁺) [4; 15]. Аммиак может нейтрализовать кислотные соединения в атмосфере, например аэрозоли азотной (HNO₃) или серной кислот (H₂SO₄) [3]. Ранее с помощью Фурье-ИК спектрального анализа было изучено воздействие нитрата аммония (NH₄NO₃), который образуется в атмосфере из аэрозолей HNO₃ и NH₃ [3]. Удалось выявить типы

образующихся в слоевищах лишайников соединений, оценить индикаторную способность разных видов лишайников [11]. Актуально изучение характера воздействия сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, который образуется в экосистемах при нейтрализации аммиаком аэрозоля H_2SO_4 . Образование $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ происходит в присутствии жидкой воды. Эти процессы идут наиболее активно в районах с повышенной влажностью и частыми туманами.

Цель работы – с помощью метода Фурье-ИК спектроскопии выяснить характер воздействия $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ на некоторые индикаторные виды лишайников.

Материал и методика. Изучены 4 вида эпифитных лишайников, которые встречаются повсеместно. Они отличаются степенью чувствительности к действию поллютантов: среднеустойчивые к загрязнению виды (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Parmelia sulcata* Taylor), гемерофобный (*Evernia mesomorpha* Nyl.) и гемерофильный (*Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.) [5; 6; 11; 16; 18]. Образцы собрали в зоне с наименьшим антропогенным воздействием – в окрестностях дер. Ферязкино (Калининский р-н Тверской обл.) [5]. Лишайники снимали со стволов деревьев острым скальпелем вместе с тонким слоем субстрата, не нарушая целостности коры деревьев.

Воздействие $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ на индикаторные виды лишайников в лабораторных условиях осуществляли путем экспонирования последних над водными растворами солей (в аэрозоли NH_3 и/или NH_4^+ и H_2SO_4 и/или SO_4^{2-}). Известно, что в воде $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ подвергается гидролитической диссоциации:



Слабое основание NH_4OH диссоциирует с выделением NH_3 (2), а H_2SO_4 в водных растворах разлагается на ионы (3):



Выбор способа воздействия поллютантов на лишайники обусловлен более эффективным взаимодействием поллютантов с компонентами лишайника, которому способствует огромная поверхность аэрозольных частиц [11; 12]. Как показали предварительные опыты, методика модельного эксперимента с целью воссоздания искусственного дождя (опрыскивание водными растворами солей) оказывается несовершенной [11]. Наложение полос поглощения солей на спектры образцов лишайников не позволяет с помощью спектрального анализа оценить изменения в химическом составе, определить количественные параметры.

Влажные образцы лишайников (1–8) над водным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ выдержали в течение 7 дней при комнатной температуре ($22\text{--}24^\circ\text{C}$) (табл. 1). Образцы (1–4) прикрепили к внутренней

поверхности крышки эксикаторов ($V=1$ л) над 30 мл 1 и 5% раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Для контроля образцы индикаторных лишайников (9–12) выдерживали в пустом герметично закрытом эксикаторе в аналогичных условиях. Эксперименты проводили в 5-и кратной повторности. Всего использовали около 60 образцов индикаторных видов лишайников.

Таблица 1

Схема проведения эксперимента

| $C_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}$, % | Вид | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | <i>Hypogymnia physodes</i> | <i>Parmelia sulcata</i> | <i>Evernia mesomorpha</i> | <i>Xanthoria parietina</i> |
| 1 | 1* | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 9 | 10 | 11 | 12 |

Примечание. * – № образцов.

Для записи ИК спектров прессовали таблетки исследуемых образцов 1–12 (3 мг) с бромидом калия (0,7 г) по стандартной методике [17]. Спектры регистрировали на Фурье-ИК спектрометре «Equinox 55» фирмы «Bruker» в диапазоне $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$, разрешение составляло 4 см^{-1} , количество сканов – 32. С целью исключения влияния толщины образца на результаты количественных расчетов определили отношение A_v/A_c , где A_v и A_c – оптическая плотность анализируемой полосы поглощения и полосы стандарта соответственно. В качестве полосы стандарта выбрали полосу, характеризующую асимметричные валентные колебания CH_2 -группы с максимумом $\sim 2925\text{ см}^{-1}$ [12; 24]. Отношение A_v/A_{2925} дает представление об относительном содержании анализируемых функциональных групп и позволяет оценить изменение содержания в процессе воздействия поллютанта.

Для интерпретации спектров использовали основные отечественные и зарубежные руководства [14; 21]. Учитывали данные спектральных исследований лишайников, испытывавших воздействие поллютантов в лабораторных условиях [8–13; 22; 24; 25].

Результаты и обсуждение. Фурье-ИК спектральный анализ образцов индикаторных лишайников (1–8), испытывавших воздействие $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, позволил установить основные изменения в химическом составе под действием поллютанта. Лишайники, экспонированные над водными растворами $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (в аэрозолях NH_3 и/или NH_4^+ и H_2SO_4 и/или SO_4^{2-}), поглощали поллютанты в результате физико-химического процесса, происходящего при взаимодействии с компонентами клеточных стенок гиф.

В ИК спектрах образцов (1–8), испытывавших воздействие поллютантов, обнаружены изменения, связанные с образованием нескольких типов соединений – сульфонов ($\text{R-SO}_2\text{R}$), сульфатов ($\text{R-O-SO}_2\text{-OR}_1$) и аммонийной соли (R-COONH_4) (рис. 1) [6–12; 22]. На

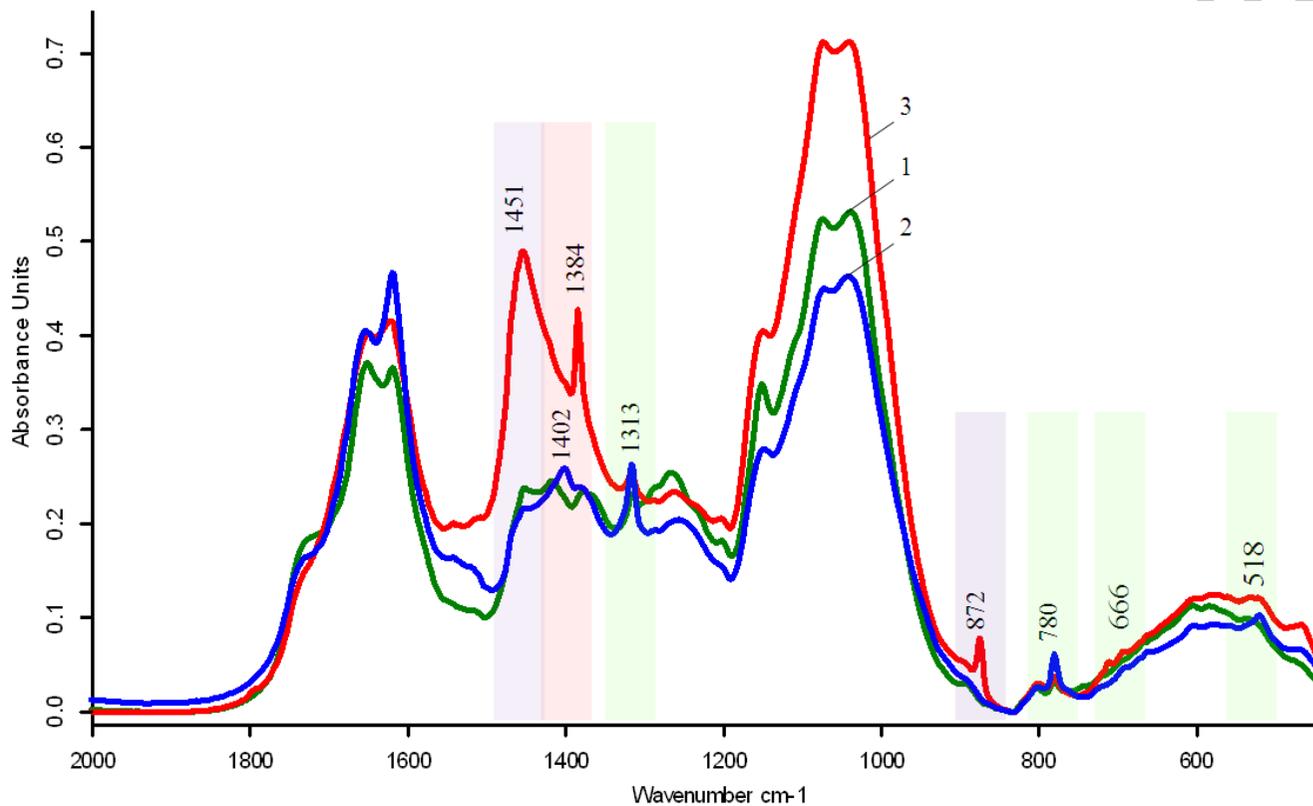
наличие сульфонов в ИК спектрах образцов указывают полосы при 1313 $\nu_a(\text{SO}_2)$, 780, 668 и 518 cm^{-1} $\nu(\text{S-O-C})$; на сульфаты – 1452(± 3) $\nu_a(\text{SO}_2)$ и 873(± 2) cm^{-1} $\nu(\text{S-O-C})$; на аммонийную соль – 1402 или 1384(± 3) cm^{-1} $\delta(\text{N-H})$. Отнесение полос при 1452(± 3) к $\nu_a(\text{SO}_2)$ и 873(± 2) cm^{-1} к $\nu(\text{S-O-C})$ уточнено путем сопоставления полученных спектров образцов (5–7) с нашими ранее полученными данными [9; 10]. Сравнение ИК спектра образца 5 со спектром лишайника *Hypogymnia physodes*, экспонированного над концентрированной H_2SO_4 подтверждает корректность интерпретации (рис. 2). Однако в спектрах образцов, в которых одновременно отмечены сульфаты и аммонийная соль происходит смещение полос. В спектрах образцов полоса, характеризующая присутствие аммонийной соли в слоевищах смещается из положения 1402 в 1384(± 3) cm^{-1} ; полоса, указывающая на сульфаты – из положения 1429 в 1452(± 3) cm^{-1} .

Механизмы образования сульфатов и сульфонов, описаны в соответствующих работах [8–10]. Окисление OH -групп лишайника до карбонильных ($>\text{C}=\text{O}$) и карбоксильных групп ($>\text{COOH}$) под действием H_2SO_4 делает возможным детоксикацию NH_3 путем присоединения его к $>\text{COOH}$ -группе с образованием аммонийной соли согласно реакции [11]:



Таблица 2
Полосы поглощения в ИК спектрах образцов лишайников, экспонированных над водным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

| Отнесение полос поглощения | Положение полосы, cm^{-1} | | | |
|--|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | <i>Hypogymnia physodes</i> | <i>Parmelia sulcata</i> | <i>Evernia mesomorpha</i> | <i>Xanthoria parietina</i> |
| Аммонийные соли (R-COONH_4): $\delta(\text{N-H})$ | 1402 | 1402 | 1402 | – |
| Сульфоны ($\text{R-SO}_2\text{R}$): $\nu_a(\text{SO}_2)$ $\nu(\text{S-O-C})$ | 1313 780, 666, 518 | – – | – – | – – |
| Аммонийные соли (R-COONH_4): $\delta(\text{N-H})$ | | | | |
| Сульфаты ($\text{R-O-SO}_2\text{-OR}_1$): $\nu_a(\text{SO}_2)$ $\nu(\text{S-O-C})$ | 1384 1451 872 | 1385 1451 875 | 1382 1456 874 | – – – |



Р и с . 1 . ИК спектры образцов *Hypogymnia physodes*:
1 –из фоновой зоны; 2 – испытывавшие воздействие 1% (NH₄)₂SO₄; 3–5% (NH₄)₂SO₄

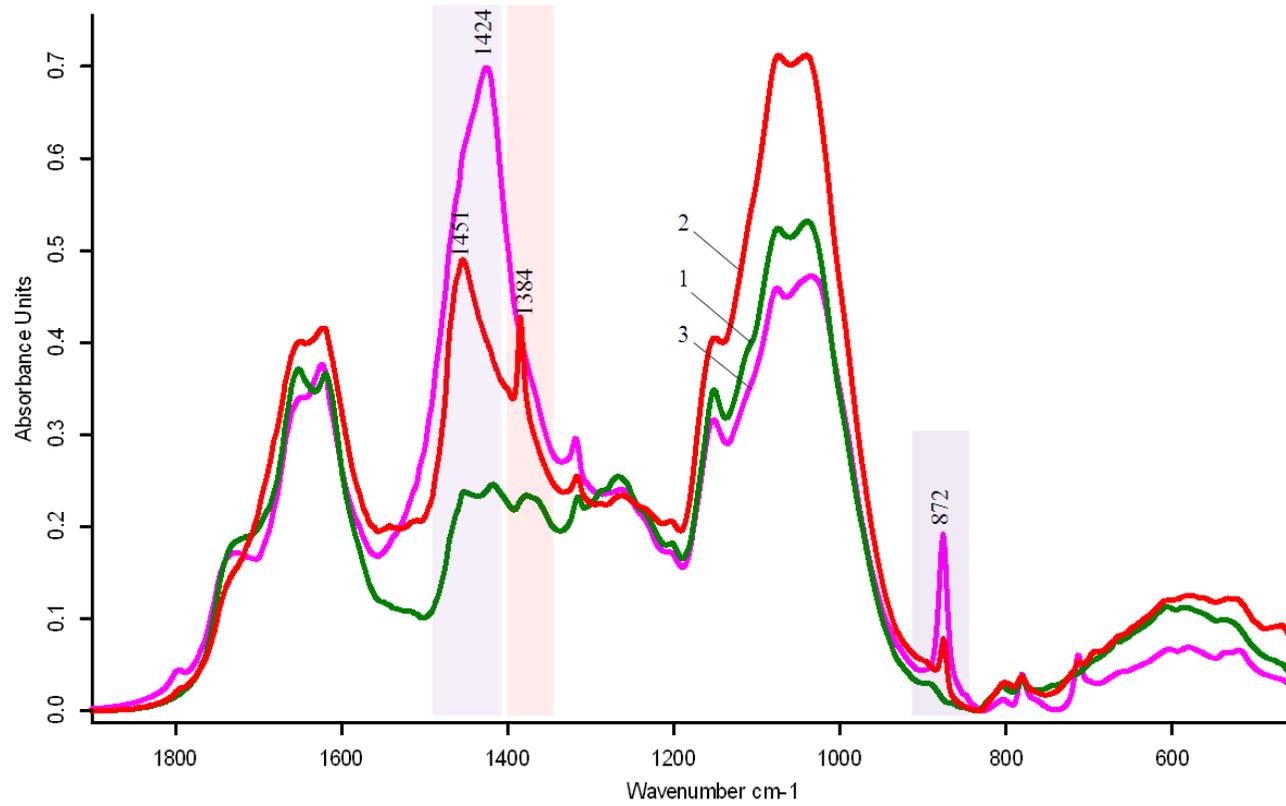


Рис. 2. ИК спектры образцов *Hypogymnia physodes*:
1 – из фоновой зоны; 2 – испытанные воздействию 5% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 3 – концентрированной H_2SO_4

В зависимости от видовой специфичности и концентрации поллютанта типы образуемых соединений и их сочетание в слоевищах могут быть различными. В слоевищах индикаторных видов лишайников выявлены три разных комбинации соединений – аммонийная соль и сульфоны; аммонийная соль и сульфаты; только аммонийная соль (табл. 2).

В образцах среднеустойчивого к загрязнению вида *Hypogymnia physodes* при низких концентрациях поллютанта (1%) регистрируются – аммонийная соль и сульфоны; высоких концентрациях (5%) – аммонийная соль и сульфаты (рис. 1, 2; табл. 2). На сульфоны в ИК спектрах образцов указывают полосы при 1313, 780, 668 и 518 см^{-1} ; сульфаты – 1451 $\nu_a(\text{SO}_2)$ и 872 $\text{см}^{-1} \nu(\text{S-O-C})$; аммонийную соль – 1402 или 1384 $\text{см}^{-1} \delta(\text{N-H})$.

Анализ изменений в спектрах образцов гемерофобного (*Evernia mesomorpha*) и среднеустойчивого к загрязнению видов (*Parmelia sulcata*) показал, что высокие концентрации поллютантов вызывают образование аммонийной соли и сульфатов, низкие – только аммонийной соли (табл. 3).

Спектры образцов гемерофильного лишайника (*Xanthoria parietina*) демонстрирует высокую толерантность к действию поллютантов. В спектрах образцов, экспонированных над водным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при разных концентрациях изменений не обнаружено.

Таблица 3
Значения отношения A_{ν}/A_{2925} рассчитанные по ИК спектрам индикаторных лишайников, экспонированных над водным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

| Виды | С _П , % | Тип соединения | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------|---------------------|------|------|------|----------------------|----------|
| | | R-O-SO ₂ -OR ₁ | | R-SO ₂ R | | | | R-COONH ₄ | |
| | | $\nu, \text{см}^{-1}$ | | | | | | | |
| | | 453(±3) | 873(±2) | 1313 | 780 | 666 | 518 | 1402 | 1384(±3) |
| <i>Hypogymnia physodes</i> | 1 | – | – | 0,81 | 0,18 | 0,29 | 0,12 | 0,78 | – |
| | 5 | 1,29 | 0,20 | – | – | – | – | – | 1,10 |
| <i>Parmelia sulcata</i> | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 5 | 1,06 | 0,17 | – | – | – | – | – | 1,03 |
| <i>Evernia mesomorpha</i> | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 5 | 1,62 | 0,27 | – | – | – | – | – | 1,97 |
| <i>Xanthoria parietina</i> | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 5 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Примечание. «–» – нет полосы поглощения в ИК спектре образца лишайника.

Количественные расчеты спектров образцов показали, что при низких концентрациях поллютантов содержание аммонийной соли в образцах не высокое. Значение величин A_{1402}/A_{2925} в образцах

индикаторных видов (*Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Evernia mesomorpha*) варьирует от 0,78 до 0,93 (табл. 3). Содержание сульфонов, отмеченных в образцах *Hypogymnia physodes* также не значительное – значение величины A_{1313}/A_{2925} составляет 0,78.

При высоких концентрациях поллютанта, содержание аммонийной соли существенно выше – значение величин $A_{1384(\pm 3)}/A_{2925}$ варьирует от 1,03 в образцах *Parmelia sulcata* до 1,97 в образцах *Evernia mesomorpha*. Благодаря большой площади поверхности, кустистый лишайник *Evernia mesomorpha* нейтрализует токсичный аммиак быстрее других видов, не допуская его накопление путем образования аммонийных солей [1; 11]. Концентрация серосодержащего соединения (сульфатов) в образцах лишайников выше, чем сульфонов – величина $A_{1452(\pm 3)}/A_{2925}$ принимает значения от 1,06 до 1,62.

Среди образцов индикаторных видов лишайников, экспонированных над водным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, слоевища среднеустойчивого к загрязнению вида *Parmelia sulcata* оказались в большей степени поврежденными. Верхняя поверхность лопастей стала грязновато-серой, местами отмечены розоватые и коричневые пятна, появились микротрещинки. Некротические изменения обусловлены прежде всего токсичностью NH_3 . В образцах *Parmelia sulcata* обнаружено меньше всего аммонийной соли, являющейся продуктом детоксикации NH_3 . В меньшей степени были повреждены слоевища *Hypogymnia physodes* и *Evernia mesomorpha*. Не выявлено морфологических изменений у *Xanthoria parietina*.

Анализ изменений в химическом составе лишайников, анатомо-морфологических признаков слоевищ позволяют расположить изученные виды по уменьшению степени чувствительности к действию NH_3 и/или NH_4^+ и H_2SO_4 и/или SO в следующий 4² ряд:

Hypogymnia physodes – *Parmelia sulcata*, *Evernia mesomorpha* – *Xanthoria parietina*.

Несмотря на способность гемеофобного вида *Evernia mesomorpha* быстрее других видов нейтрализовывать токсичный NH_3 в присутствии H_2SO_4 и/или SO_4^{2-} , его незначительная чувствительность к действию поллютантов низкой концентрации не позволяет поставить в данном ряду этот вид на первое место.

Выводы. С помощью метода Фурье-ИК спектроскопии идентифицированы основные изменения в химическом составе индикаторных видов лишайников под воздействием $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. В слоевищах лишайников образуются три типа соединений – сульфоны ($\text{R-SO}_2\text{R}$), сульфаты ($\text{R-O-SO}_2\text{-OR}_1$) и аммонийная соль (R-COONH_4). Процессы образования серосодержащих соединений (сульфатов и сульфонов) и аммонийных солей химически сопряжены, поллютант накапливается и взаимодействует со структурными компонентами клеточной стенки гиф. Видовая специфичность и концентрации

поллютанта определяют типы образуемых соединений и их сочетание в слоевищах.

Данные об изменениях в химическом составе индикаторных лишайников в результате воздействия $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ могут быть использованы в мониторинговых исследованиях. В практике биомониторинга загрязнения атмосферы аэрозолями NH_3 и/или NH_4^+ и H_2SO_4 и/или SO_4^{2-} при различных концентрациях, универсальным индикатором является среднеустойчивый к загрязнению вид *Hypogymnia physodes*. У него обнаруживаются изменения в химическом составе слоевищ при очень низких и при высоких концентрациях поллютантов, что позволяет успешно идентифицировать их наличие в воздухе. Использование *Parmelia sulcata* и *Evernia mesomorpha* может быть эффективно при мониторинге загрязнения воздуха NH_3 и/или NH_4^+ и H_2SO_4 и/или SO_4^{2-} высоких концентраций.

Автор выражает признательность за неоценимую помощь в процессе исследований и подготовке статьи сотрудникам ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет» – доценту кафедры ботаники, к.б.н. А.А. Нотову, профессору кафедры физической химии, д.х.н. П.М. Пахомову, зав. лабораторией спектроскопии ЦКП, к.х.н., С.Д. Хижняк.

Список литературы

1. Биохимия растений / под ред. Л.А. Красильниковой. Ростов н/Д: Феникс; Харьков: Торсинг, 2004. 224 с.
2. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир, 2002. 336 с.
3. Гольдовская Л.Ф. Химия окружающей среды. М.: Мир, 2005. 296 с.
4. Исидоров В.А. Экологическая химия. СПб.: Химиздат, 2001. 304 с.
5. Мейсунова А. Ф. Эпифитные лишайники промышленных районов Тверской области. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2012. 186 с.
6. Мейсунова А.Ф. Биотестирование аммиака, оксидов азота и серы в воздухе с помощью спектрального анализа эпифитных лишайников // Естественнонаучные основы теории и методов защиты окружающей среды: тез. докл. I Всерос. молодеж. науч. конф. (26–27 апр. 2011, Санкт-Петербург). СПб.: СПбКиТб, 2011. С. 25.
7. Мейсунова А.Ф. Мониторинг воздушного загрязнения в районе свиноводческого комплекса // ЭКОАНАЛИТИКА-2011: тез. докл. VIII Всерос. конф. по анализу объектов окружающей среды и Школа молодых ученых, посвящ. 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова, (26 июня–2 июля 2011 г.). Архангельск, 2011. С. 190.
8. Мейсунова А.Ф. Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Оценка токсичного воздействия диоксидов азота и серы на химический состав *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. ИК спектральный анализ // Сиб. экол. журн. 2011. Т. 18, № 2. С. 251–261.

9. Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Оценка уровня загрязнения воздуха сернистым ангидридом с помощью модельных ИК спектральных исследований химического состава лишайника *Нурогутния physodes* (L.) Nyl. // Физика и химия полимеров: Синтез, свойства и применение: сб. науч. тр. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2008. Вып. 14. С. 178–189.
10. Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Дементьева С.М., Пахомов П.М. ИК спектральные исследования воздействия сернистого газа на слоевище лишайника *Нурогутния physodes* (L.) Nyl. и их практическое применение // Экологическая химия. 2008. Т.17, вып. 3. С. 181–192.
11. Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Анализ воздействия нитрата аммония на индикаторные лишайники с помощью метода Фурье-ИК спектроскопии // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. Биология и экология. 2011. Вып. 23, № 20. С. 150–162.
12. Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Определение химического состава эпифитных лишайников по данным ИК спектроскопии // Журн. прикл. спектроскопии. 2011. Т. 78, № 5. С. 764–771.
13. Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Спектроскопическое изучения воздействия окислов азота на слоевище лишайника *Нурогутния physodes* (L.) Nyl. // Экологическая химия. 2007. Т. 16, вып. 4. С. 27–35.
14. Методы исследования древесины и ее производных / под ред. Н.Г. Базарновой. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2002. 160 с.
15. Покровская Е.Н., Бельцова Т.Г. Физическая химия. Химия атмосферы. Химия в реставрации. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 88 с.
16. Смирнова М.В., Мейсурова А.Ф. Исследование индикаторной способности эпифитных лишайников методом Фурье-ИК спектроскопии // XVIII Региональные Каргинские чтения: тез. докл. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2011. С. 81.
17. Смит А. Прикладная ИК спектроскопия. М: Мир. 1982. 328 с.
18. Трасс Х.Х. Классы толерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1985. Т. 7. С. 122–137.
19. Ammonia in the UK - the Highlights. Department for environment, foods and rural affairs (DEFRA). 2002. 91 p.
20. Ноуск М. Ammoniac saltpeter and tolerance in lichens // Environ. pollut. 2010. Vol. 158, № 5. P. 1127–1133.
21. Infrared characteristic group frequencies. Tables and Charts / ed. by G. Socrates. London: John Wiley and Sons., 1994. 256 p.

22. *Khizhnyak S.D., Meysurova A.F., Pakhomov P.M.* Identification of SO₂ in industrial areas by means of infra red spectroscopic analysis of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. // 11th European Meeting on Environmental Chemistry – EMEC, Portooz, Slovenia, December 8–11. Nova Gorica: University, 2010. P. 45.
23. *Lang G.E., Reiners W.A., Heier R.K.* Potential alteration of precipitation chemistry by epiphytic lichens // *Oecologia*. 1976. Vol. 25. P. 229–241.
24. *Meysurova A.F., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M.* IR spectral analysis of the chemical composition of the lichen *Hypogymnia physodes* to assess atmospheric pollution // *Jour. of applied spectroscopy*. 2009. Vol. 76, Is. 3. P. 420–426.
25. *Meysurova A.F., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M.* IR spectroscopic study on indicator species of lichens for detection of nitrogen dioxide in atmosphere // 11th European Meeting on Environmental Chemistry – EMEC, Portooz, Slovenia, December 8–11. Nova Gorica: University, 2010. P. 30.
26. *Millbank J.W., Kershaw K.A.* Nitrogen metabolism in the lichens / ed. by V. Ahmadjian, M.E Hale. New York: Academic Press, 1973. P. 289–307.
27. *Smith D.C.*: Studies in the physiology of lichens. 1.1. The effects of starvation and of ammonia absorption upon the nitrogen content of *Pehigera polydactyla* // *Ann. Bot.* 1960a. Vol. 24. P. 52–62.
28. *Smith D.C.*: Studies in the physiology of lichens. 3.3. Experiments with dissected discs of *Peltigera polydactyla* // *Ann. Bot.* 1960b. Vol. 24. P. 186–199.

EFFECT OF AMMONIUM SULFATE ON INDICATOR LICHENS STUDIED BY MEANS OF FTIR SPECTROSCOPY

A.F. Meysurova

Tver State University

Several kinds of indicator lichens undergone to interaction with ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄) have been studied by means of FTIR spectroscopy. It has been established that three types of compounds – sulfones (R–SO₂R), sulfates (R–O–SO₂–R₁) and ammonium salts (R–COONH₄) are formed in lichens under the influence of this substance. The combination of types of formed compounds depends on specificity and concentration of a pollutant. Their qualitative estimation and investigation of morphological changes in the lichens allow us to define the sensitivity of the studied species to (NH₄)₂SO₄ treatment.

Keywords: *FTIR-spectroscopy, indicator species, lichen, pollutant, sulfate of ammonium, ammonia, sulfuric acid.*

Об авторах:

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: alexandrauraz@mail.ru