УДК 574.3+582.29

СРАВНЕНИЕ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО, ЦЕНОТИЧЕСКОГО И ПОПУЛЯЦИОННОГО ПОДХОДОВ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ

© 2012 Ю.Г. Суетина

Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола

Поступила в редакцию 09.05.2012

Проведен сравнительный анализ антропогенной трансформации лишайниковых группировок и структуры популяции индикаторного вида *Xanthoria parietina* на территории города Йошкар-Олы. Показаны преимущества и недостатки разных подходов лихеноиндикационного зонирования городской территории.

Ключевые слова: *эпифитные лишайники, загрязнение атмосферы, популяция, Xanthoria parietina*

Длительный период использования эпифитных лишайников как индикаторов загрязнения воздуха проходил в условиях кислого загрязнения среды, главным образом двуокисью серы [2, 3, 6 и др.] В настоящее время возросло количество поступающих в окружающую среду соединений азота, что сопровождается экспансией нитрофитных видов лишайников [1]. Выбросы автотранспорта вызывают повышение pH коры деревьев, что влияет на распределение лишайников [10]. Для г. Лондона показано, что при увеличении концентрации NO_x выше 70 мкг/м$^{-3}$ и концентрации NO_2 выше 40 мкг/м$^{-3}$ видовое разнообразие лишайников уменьшается, однако отмечена положительная связь между NO_x и обилием устойчивых нитрофитных видов [7].

Для тестирования атмосферных загрязнений нами разработан популяционный подход с использованием нитрофитного лишайника *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., устойчивого к загрязнению оксидами азота [7, 9], который апробирован нами в городах с разной степенью загрязнения среды [4, 5].

Цель работы: сопоставление результатов традиционных флористического и ценотического подходов с популяционным подходом в лихеноиндикационных исследованиях.

Материал и методы. Изучение разнообразия эпифитных лишайников и описание лишайниковых группировок проводили на территории г. Йошкар-Олы, в его окрестностях, в заповеднике «Большая Кокшага». Согласно методикам лихеноиндикационных исследований карта города была разбита на квадраты-пункты размером 1х1 км. В каждом из 30 пунктов описание лишайниковых группировок проводили на 20 деревьях липы сердцелистной (*Tilia cordata* Mill.). В лесных массивах исследования проводили в липняках. Выбирали одноствольные отдельно стоящие деревья с длиной окружности ствола 0,5-1,0 м. Покрытие каждого вида лишайника определяли на высоте 1,3 м на 4-х экспозициях ствола на площади 100 см^2, используя сеточку 10х10 см. Кроме того, отмечали присутствие видов лишайников, обнаруженных от основания ствола до высоты 2 м. Правильность определения проверена в гербарии лишайников Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE).

На территории г. Йошкар-Олы изучена плотность популяции *X. parietina* – среднее число особей на дереве в местообитании. На стволе липы сердцелистной на высоте от 1,3 м до 1,8 м подсчитывали число особей *X. parietina.* Число деревьев в разных местообитаниях варьирует от 4 до 25. Всего обследовано 588 деревьев из 54 местообитаний. Зоны загрязнения на территории г. Йошкар-Олы выделены: 1) на основе распространения индикаторных видов лишайников; 2) с помощью индекса атмосферной чистоты (I.A.P.), предложенного канадскими исследователями Де Слувером и Ле Бланом (De Sloover, Le Blanc, 1968): $I.A.P. = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i f_i}{10}$, где n – количество видов; Q_i – экологический индекс определенного вида (показатель Q характеризует среднее количество видов, сопутствующих данному виду на всех пунктах описания); f_i – показатель покрытия-встречаемости, определяемый по 5-бальной шкале; 3) на основе изменения плотности популяции *X. parietina.* Вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена. При анализе плотности популяции использовали преобразование ln(x+1). Зависимость пространственного распределения плотности популяции

Суетина Юлия Геннадьевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой ботаники и микологии. E-mail: suetina@inbox.ru

от координат местообитания на территории города оценивалась с помощью пошагового нелинейного регрессионного анализа. Использовали компьютерную программу «Statistica 6.0».

Результаты и обсуждение. Флористический подход зонирования территории города реализован на основе распространения индикаторных видов лишайников. Анализ распространения лишайников на территориях с разной степенью антропогенной нагрузки позволил составить региональную шкалу чувствительности индикаторных видов к загрязнению. По степени чувствительности видов к загрязнению выделено 5 групп лишайников: очень чувствительные, чувствительные, средне чувствительные, устойчивые, очень устойчивые. Наиболее распространенные индикаторы загрязнения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Региональная шкала чувствительности лишайников к загрязнению на липе сердцелистной

Очень чувствительные	Чувствительные	Средне чувствительные	Устойчивые	Очень устойчивые
Bryoria fuscescens (Gyeln.) Brodo & D.Hawksw. *Evernia mesomorpha* Nyl. *Lecanora subrugosa* Nyl. *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. *Ramalina farinacea* (L.) Ach.	*Anaptychia ciliaris* (L.) Korb. *Graphis scripta* (L.) Ach. *Pertusaria amara* (Ach.) Nyl. *Phlyctis argena* (Sprengel) Flotow. *Ramalina pollinaria* (Westr.) Ach.	*Lecanora rugosella* Zahlbr. *Melanelia subargentifera* (Nyl.) Essl. *Physconia enteroxantha* (Nyl.) Poelt *Usnea hirta* Weber ex Wigg.	*Evernia prunastri* (L.) Ach. *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. *Melanelia exasperatula* (Nyl.) Essl. *Physcia adscendens* (Fr.) Oliv.	*Lecanora hagenii* (Ach.) Ach. *Phaeophyscia nigricans* (Flk.) Moberg *Physcia stellaris* (L.) Nyl. *Xanthoria parietina* (L.) Th.Fr.

Очень чувствительные виды произрастают в заповеднике и в окрестностях, мы рассматриваем эти территории как фоновые. Чувствительные виды встречаются в лесопарковых массивах в окрестностях города, на фоновой территории. Средне чувствительные виды распространены в периферийных районах города; некоторые из них найдены в ненарушенных местообитаниях. Устойчивые виды произрастают на всей территории города, за исключением районов, где сконцентрированы промышленные предприятия; ряд видов найден на фоновой территории. Очень устойчивые виды встречаются на всей территории города; некоторые из них произрастают на фоновой территории.

Обобщенные границы распространения индикаторных видов делят территорию города на 4 зоны загрязнения. Зона (I) сильного загрязнения включает районы с сосредоточением промышленных предприятий. Здесь встречаются наиболее толерантные к загрязнению виды. Зона (II) умеренного загрязнения охватывает центральную часть города. Здесь встречаются очень устойчивые и устойчивые к загрязнению виды. Зона (III) слабого загрязнения объединяет окраины города. Здесь встречаются очень устойчивые, устойчивые и средне чувствительные к загрязнению лишайники. Зона (IV) наименьшего загрязнения включает массивы лесопарковых лесов, где найдены очень устойчивые, устойчивые, средне чувствительные, чувствительные к загрязнению виды. Максимальное видовое разнообразие лишайниковых группировок свойственно сообществам лесопарковой зоны, где перекрываются экологические ниши очень устойчивых, устойчивых, средне чувствительных и чувствительных видов. Следует заметить, что в г. Йошкар-Оле отсутствует зона очень сильного загрязнения, или «лишайниковая пустыня.

В лишайниковых группировках на территории города доминируют виды нитрофитной корки: *Lecanora hagenii, Physcia stellaris, Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg и распространены другие виды этой же группы: *Caloplaca holocarpa* (Hoffm. ex Ach.) Wade, *Phaeophyscia nigricans*, *Physcia adscendens* (Fr.) Oliv., *Physcia tenella* (Scop.) DC., *Xanthoria parietina и Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Rieber. Для липы сердцелистной отмечено повышение pH корки (5,3-5,6). На большей части территории города все выше названные нитрофитные виды поселяются на березе повислой (*Betula pendula* Roeth) – дереве с кислой коркой (pH=3,7).

Кроме зонирования по распространению видов, было проведено зонирование территории города на основе индекса I.A.P., который включает характеристики лишайниковых группировок (ценотический подход). Количественные характеристики лишайникового покрова приведены в таблице 2. Полученные расчетные значения индекса I.A.P. изменяются в пределах города от 6,13 до 34,51. На основе индекса чистоты атмосферы были выделены III зоны загрязнения на территории г. Йошкар-Олы. Однако, зона IV (лесопарковая), определенная по распространению видов, по индексу I.A.P. не выделяется. Это вызвано тем, что в лесопарковых массивах увеличивается затенение, что приводит к снижению покрытия лишайников. Это отражается на индексах I.A.P., которые здесь даже несколько ниже по сравнению с таковыми, рассчитанными для рядом расположенных открытых участков.

Таблица 2. Показатели лишайникового покрова на липе сердцелистной

Зоны загрязнения	Общее число видов (на высоте ствола 0-2 м)	Число видов в лишайниковых группировках (на высоте ствола 1,3 м)	Проективное покрытие, %
зона (I) сильного загрязнения	11	9-10	14-17
зона (II) умеренного загрязнения	30	10-22	12-51
зона (III) слабого загрязнения	45	20-27	51-72
зона (IV) наименьшего загрязнения	53	28-35	35-54
фоновая территория	49	14-25	37-67

Популяционный подход. Плотность популяции *X. parietina* (среднее число особей на дереве) в местообитаниях Йошкар-Олы варьирует от 0,8 до 66,5 слоевищ на дереве, среднее – 10,7. Анализ пространственных распределений плотности популяций выявил их зависимость от координат местообитания, т.е. от расположения местообитания на территории города Йошкар-Олы ($P<10^{-15}$).

Поскольку мы имеем непрерывный ряд значений плотности популяции от 0 до 4,2 (в логарифмической шкале), этот ряд был разделен на 3 группы: с низкой (от 0 до 1,4), средней (от 1,5 до 2,8) и высокой плотностью (от 2,9 до 4,2). Область с низкими значениями плотности популяции на территории Йошкар-Олы соответствует южной промышленной зоне города (район железнодорожного вокзала и заводов). Увеличение плотности популяции происходит постепенно к окраинам города. Здесь в западной части находятся местообитания с плотностью – 50,1; 53,7 и 56,8; в северной части – 31,5; 33,8 и 35,8; в восточной части – 36,0; 37,5; 49,4 и 66,4 слоевищ на дереве. Плотность популяции *X. parietina* на территории Йошкар-Олы положительно скоррелирована с I.A.P. (r_s=0,65; P=0,00038): бóльшей плотности соответствуют бóльшие значения I.A.P. (меньшая степень атмосферного загрязнения). Областям с низкой, средней и высокой плотностью популяции *X. parietina* соответствуют зоны сильного, умеренного и слабого загрязнения.

Сравнение плотности популяции *X. parietina* в разных городах позволяет получить грубые оценки степени загрязнения. В Казани большая часть значений плотности популяции *X. parietina* варьирует в интервале от 0 до 2. Область, соответствующая местообитаниям с низкой плотностью, охватывает практически всю территорию города (Суетина и др., 2005). Такие же значения характерны для заречной части г. Нижнего Новгорода, в то время как в нагорной части города плотность варьирует от 0,1 до до 11,7 ближе к окраинам города (Сидоренко и др., 2008).

Выводы: проведено сравнение разных подходов лихеноиндикационного зонирования городской территории. Анализ распространения индикаторных видов лишайников позволяет выделить зону наименьшего загрязнения (лесопарковые массивы) и установить преобладание щелочных или кислых компонентов загрязнения, но при этом оценивается только присутствие видов без их количественных оценок. Индекс чистоты атмосферы (I.A.P.) может быть использован лишь в сходных экологических условиях. Применение этого индекса при сравнении городских территорий и лесных экосистем не выявляет специфики экологической обстановки, поскольку констатирует сокращение покрытия эпифитных лишайников, не различая воздействий загрязнения и затенения в лесных сообществах. Распределение плотности популяции *X. parietina* на территории города отражает общие тенденции

лихеноиндикационного зонирования и является технически более простым методом, однако приуроченность *X. parietina* к освещенным местообитаниям ограничивает использование метода, как и в случае индекса чистоты атмосферы. Необходимо отметить, что градиент степени загрязнения среды (центр – окрестности города) и сопряженные с ним изменения плотности популяции *X. parietina* не описываются линейными зависимостями, полученная схема дает лишь общее представление о градиенте антропогенной нагрузки.

Автор выражает благодарность проф. Н.В. Глотову за обсуждение настоящей работы. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 12-04-01251-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бязров, Л.Г.* Изменение видового разнообразия эпифитных лишайников г. Москвы – сравнение учетов 1988-1991 и 2006 годов. 2007. http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_msk_2006.html
2. *Инсаров, Г.Э.* Лишайники в условиях фонового загрязнения атмосферы двуокисью серы / *Г.Э. Инсаров, И.Д. Инсарова* // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. Т.9. С. 242-258.
3. *Нильсон, Э.М.* Эпифитные лишайники в условиях кислого и щелочного загрязнения / *Э.М. Нильсон, Л.Н. Мартин* // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Ч.2. – Таллин, 1982. С. 88-100.
4. *Сидоренко, М.В.* Лихеноиндикационный мониторинг состояния атмосферы / *М.В. Сидоренко, Ю.Г. Суетина, И.С. Ивановская* // Экология Нижнего Новгорода: Монография / *Д.Б. Гелашвили, Е.В. Копосов, Л.А. Лаптев.* – Н.Новгород: ННГАСУ, 2008. С. 221-227.
5. *Суетина, Ю.Г.* Популяционное исследование *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. в городах при разной степени загрязнения среды / *Ю.Г. Суетина, Н.В. Глотов, Д.И. Милютина, И.А. Кшнясев* // Вестник Нижегородского университета им Н.И. Лобачевского. Серия Биология. 2005. Вып. 1 (9). С. 197-205.
6. *Трасс, Х.Х.* Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л: Гидрометеоиздат, 1985. Т.7. С. 122-138.
7. *Davies, L.* Diversity and sensitivity of epiphytes to oxides of nitrogen in London / *L. Davies, J.W. Bates, J.N.B. Bell* et al. // Environmental Pollution. 2007. V. 146, № 2. P. 299-310.
8. *De Sloover, J.* Mapping of atmospheric pollution on basis of lichen sensitivity / *J. De Sloover, F. Le Blanc* // Proceedings of the symposium on recent advances in tropical ecology. – Varanasi, India, 1968. P. 42-56.
9. *Gaio-Oliveira, G.* Ammonium uptake in the nitrophytic lichen *Xanthoria parietina* and its effects on vitality and balance between symbionts / *G. Gaio-Oliveira, L. Dahlman, K. Palmqvist, C. Maguas* // The Lichenologist. 2004. V. 36, № 1. P. 75-86.
10. *Larsen, R.S.* Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity / R.S. Larsen, J.N.B. Bell, P.W. James et al. // Environmental Pollution. 2007. Vol. 146, №2. P. 332-340.

COMPARISON OF FLORISTIC, CENOTIC AND POPULATION APPROACHES TO LICHENOINDICATION

© 2012 Yu.G.Suyetina

Mari State University, Ioshkar-Ola

The comparative analysis of lichen groups and structure of population anthropogenous transformation of indicator species *Xanthoria parietina* at the territory of Ioshkar-Ola city is carried out. Advantages and disadvantages of different approaches to lichenoindicative zoning the urban area are shown.

Key words: *epiphytic lichens, atmosphere pollution, population, Xanthoria parietina*

Yuliya Suetina, Candidate of Biology, Associate Professor, Head of the Botany and Mycology Department. E-mail: suetina@inbox.ru