

0721704-1

На правах рукописи

УДК 574 : 582.29 : 504.7.05

ПАУКОВ Александр Геннадьевич

ЛИХЕНОФЛОРА УРБООКосИСТЕМ

03.00.16 - экология

А. Паков

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Екатеринбург - 2001

Работа выполнена в Уральском государственном университете им.
А. М. Горького.

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Мухин В.А.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Шавнин С.А.,
кандидат биологических наук, профессор
Рябкова К.А.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



0000977512

Ведущая организация: Ботанический институт им. В.Л. Комарова

Защита диссертации состоится « 7 » мая 2001 года
в 16 часов на заседании Диссертационного совета Д 004.005.01
в Институте экологии растений и животных Уральского отделения
РАН по адресу: 620144, г.Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии
растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан « 7 » мая 2001 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. G. Nifontova'.

Нифонтова М.Г.

0721704-1

3

ВВЕДЕНИЕ

ИЗДАНИЕ
2008 Г.

Актуальность темы. Техническая революция, начавшаяся в середине XIX века, привела к интенсивному росту городов. Изменение состава, структуры лишенофлоры и распространения видов было отмечено во многих индустриальных центрах (Vaarna, 1934; Skye, 1968; Johnsen, Søchting, 1973). При сохранении скорости роста населения и темпов урбанизации можно ожидать, что представленность и значение синантропной лишенофлоры на планете будет возрастать. Это диктует необходимость изучения особенностей синантропных лишенофлор при их формировании в условиях различного типа антропогенного воздействия.

Свердловская область – одна из первых в России по количеству жителей. Здесь сложился крупнейший индустриальный комплекс (Атлас ..., 1997), оказывающий сильное воздействие на растительный покров (Горчаковский и др., 1995), однако на настоящий момент работ по изучению флоры лишайников и лишеноиндикации антропогенно нарушенных территорий Урала существует немного (Михайлова, 1994, 1996; Шавнин и др., 1996; Shavnin et al., 1998). В городах региона подобные работы вообще не производились.

Урбанизация и увеличение содержания загрязнителей в воздухе, несмотря на их негативное воздействие на лишенофлору, не приводят к полному исчезновению лишайников (Laundon, 1973; Ahti, Vitikainen, 1974). Совершенно очевидно, что изучение адаптаций лишайников к антропогенно нарушенным условиям является важной задачей современной лишенологии.

Цель и задачи работы. Цель работы – изучение структуры и основных особенностей лишенофлоры урбозкосистем. Основные задачи:

1. Изучение таксономической, географической, биоморфологической и экологической структуры лишенофлоры Екатеринбурга.

2. Оценка влияния городской среды на флору лишайников.

3. Анализ биоэкологических особенностей лишайников, произрастающих в условиях города.

4. Выделение индикаторных групп видов для оценки состояния городской среды и разработка лишеноиндикационной карты г. Екатеринбурга.

Научная новизна. Впервые показан процесс антропогенной трансформации лишенофлоры урбанизированных территорий Среднего Урала. Показаны биоэкологические особенности лишайников антропогенно нарушенных местообитаний. Сделаны дополнения к флоре лишайников Урала.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют обосновать выбор видов лишайников и характеристик лишайниковых группировок в качестве индикаторов антропогенного воздействия. Лихеноиндикационные карты и данные по распространению видов могут быть использованы в целях мониторинга нарушенности городской среды.

Положения, выносимые на защиту.

1. Лихенофлоры Екатеринбургa, пригородной зоны и Среднего Урала характеризуются высоким сходством таксономической, географической и биоморфологической структур.

2. Изменение видового состава, распространения и проективного покрытия эпифитных лишайников в городе определяются как загрязнением, так и естественными параметрами экотопа.

3. Влияние условий города на слоевища лишайников проявляется в изменении их жизненности, толщины анатомических слоев и степени развития вегетативных пропагул.

Апробация работы. Материалы диссертации представлены на региональной конференции молодых ученых – экологов (Екатеринбург, 1995, 1997, 1998 гг.); конференции «Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях» (Санкт-Петербург, 1997); научной конференции Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, 1998); секции лишенологии II(X) съезда РБО (Санкт-Петербург, 1998), всероссийской конференции «Развитие идей академика С.С. Шварца в современной экологии» (Екатеринбург, 1999), региональной конференции «Стратегические направления экологических исследований на Урале и экологическая политика» (Екатеринбург, 1999); Первой Российской школе – симпозиуме молодых лишенологов «Арктоальпийская флора. Охрана лишайников», (Апатиты, 2000).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка цитируемой литературы и приложения. Работа изложена на 150 страницах (90 страниц в приложении) и включает 45 таблиц и 68 рисунков. Список литературы содержит 266 названий, в том числе 154 на иностранных языках.

Глава 1. Район, объекты и методы исследования

В разделах 1.1. – 1.5. приведена характеристика геологического строения, гидрологии, климата, растительного покрова района исследования, а также загрязнения воздуха в г. Екатеринбург.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО
КАЗАНСКОГО ГОС. УНИВЕРСИТЕТА

1.6. Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились эпифитные, эпилитные, эпигейные и эпиксильные лишайники г. Екатеринбурга. Контрольная территория выбрана в 50 км к юго-востоку от города в междуречье р. Исеть и Сысерть, располагающемся на границе пригородной зоны (Архипова, 1981). Для выявления видового состава и распространения лишайников использованы методы маршрутных учетов и пробных площадей. Всего проведено около 200 учетов на площади 150 км² в Екатеринбурге и 50 км² в пригородной зоне. Общее количество собранных образцов лишайников - более 2500.

Для изучения эпифитных лишайниковых группировок в городе и пригородной зоне заложены 70 пробных площадей 10 x 10 км², где с помощью квадрат - сетки 10 x 10 см произведены описания эпифитных лишайниковых группировок на *Pinus sylvestris* L. и *Populus balsamifera* L. Отмечались возраст, наклон и окружность ствола, сомкнутость крон. Сделано около 1000 описаний. Для определения кислотности корки форофитов взяты пробы с 10 деревьев на каждой пробной площади.

Флористический анализ проведен в соответствии принципами, разработанными А. Н. Окснером (1946). Подразделение видов по широтным и долготным геоэлементам проведено в соответствии с данными Н.В. Седельниковой (1990). Спектры жизненных форм построены на основании схемы, предложенной Н.С. Голубковой и Л.Г. Бязровым (1989). При сравнительном анализе лишенофлор использованы списки лишайников Среднего Урала (Рябкова, 1998), Санкт – Петербурга (Мальшева, 1996), Ленинградской области (Заварзин и др., 2000), Москвы (Бязров, 1996), Таллина (Мартин, 1984) и Йошкар-Олы (Суетина, 1999).

При отнесении видов к группам устойчивости учитывалась их приуроченность к зонам с различной антропогенной нарушенностью, условия произрастания, жизненность, фертильность.

Анализ толщины анатомических слоев талломов производился в световом микроскопе. Всего проанализировано 195 слоевищ и сделано 4815 измерений их анатомических структур.

Зонирование города по уровню загрязнения воздуха проведено с использованием значений концентраций поллютантов на станциях контроля Метеоцентра. Для лишеноиндикационного картирования территории города рассчитана величина индекса атмосферного загрязнения – IAP (Le Blanc, De Sloover, 1970) для эпифитов сосны и тополя.

Статистическая обработка данных производилась в программных приложениях Microsoft Excel, STATISTICA 5.0 для Windows с использо-

ванием дисперсионного анализа, непараметрического критерия Краскелла-Уоллеса, ранговой корреляции Спирмена, t - критерия Стьюдента и корреляционных матриц (Василевич, 1969; Зайцев, 1990).

Глава 2. Флора лишайников г. Екатеринбурга

История изучения антропогенного влияния на лишайники насчитывает более 160 лет (Richardson, 1992). В настоящее время изучены и закартированы лишеноиндикационными методами ряд городов Европы и Америки. В русскоязычной литературе публикации, посвященные лишайникам урбоэкосистем, появляются в шестидесятые годы XX века. Изучена лишенофлора шести городов России, ряда городов Прибалтики и Украины, на Урале таких работ ранее не производилось.

2.1. Систематическая структура лишенофлоры

Лишенофлора Екатеринбурга включает 123 вида лишайников из 25 семейств и 50 родов. Видовая насыщенность семейства составляет 5,2, рода – 2,5, родовая насыщенность семейства – 2,05. Близкими пропорциями характеризуется лишенофлора пригородной зоны Екатеринбурга – 5,5: 2,1: 2,2. Коэффициент их сходства по Чекановскому – Серенсену составляет 0,81.

Ядро лишенофлоры Екатеринбурга образовано семействами *Cladoniaceae*, *Parmeliaceae*, *Lecanoraceae*, *Physciaceae* и *Teloschistaceae*, составляющими в совокупности 66,7 % общего числа видов. По составу спектра ведущих семейств лишенофлора г. Екатеринбурга не отличается от таковой пригородной зоны и Среднего Урала. Однако семейство *Cladoniaceae*, лидирующее по числу видов в лишенофлоре города, вытесняет на второе место сем. *Parmeliaceae*, доминирующее в пригородной зоне и на Среднем Урале.

Наиболее крупными родами во флоре лишайников Екатеринбурга являются *Cladonia*, *Lecanora*, *Peltigera*, *Caloplaca*, а также *Melanelia* и *Physcia*, разделяющие пятую позицию. Состав ведущих родов лишенофлоры города совпадает с пятеркой для пригородной зоны и Среднего Урала, причем полностью идентично положение трех, характеризующихся максимальным видовым богатством - *Cladonia*, *Lecanora* и *Peltigera*. Отличием спектров является выход рода *Caloplaca* на четвертую позицию в лишенофлоре Екатеринбурга и, соответственно, более низкое положение р. *Melanelia*.

2.2. Географический анализ лишенофлоры

Принадлежность лишенофлоры Екатеринбурга к зональному типу отражает доминирование в спектре широтных геоэлементов бореальных ли-

шайников (более 40% видового состава). Высокую роль играют виды монганного и гипоарктомонганного широтных геоэлементов, в совокупности составляющие 42,3% видов. Неморальные лишайники занимают четвертую позицию и включают 9,8% лишенофлоры Екатеринбурга. Группа степных представлена семью видами (5,7%), арктовысокогорных - двумя (1,6%).

Спектр широтных геоэлементов лишенофлоры города по положению групп идентичен таковому для пригородной зоны. Вместе с тем, в лишенофлоре города на 10% уменьшается доля бореальных и, соответственно, несколько увеличивается доля монганных, гипоарктомонганных и неморальных лишайников.

Флора лишайников Екатеринбурга на 94,2 % образована широко распространенными видами, имеющими паллиарктический, голарктический, евразоамериканский, голарктико-ногарктический и евразийский типы ареалов. Долготный спектр лишенофлоры Екатеринбурга полностью совпадает с таковым для пригородной зоны.

2.3. Спектр жизненных форм лишайников

В Екатеринбурге отмечено 11 групп жизненных форм лишайников. В пятерку ведущих входят однообразно накипные, составляющие более 40% видов, рассеченнолопастные ризоидальные, шилосцифовидные плагиоорто-тропные, широколопастные ризоидальные и кустистые разветвленные, в совокупности составляющие 90,4% видов. Особенностью спектра жизненных форм лишайников города является более высокая позиция кустистых разветвленных и более низкая – кустистых повисающих, а также отсутствие эндофлеоидных видов.

2.4. Экологические группы лишайников

В городе выделено 15 экологических групп лишайников. Наиболее многочисленными являются облигатные эпифиты, эпилиты и эпигефиты (26,8; 25,2 и 16,3 % соответственно). Почти три четверти (69,9%) видов в городе являются стенотопными, встречающимися только на одном типе субстрата. Лишайники, встречающиеся на двух типах, составляют 21,1 %, на трех и более – 9 % видов. Более высокую позицию в лишенофлоре Екатеринбурга занимают облигатные эпифиты, эпигефиты-эпилиты и др., более низкую – эпиксилы-эпигефиты, эпифиты-эпилиты и облигатные эпиксилы.

2.5. Флора эпифитных лишайников

На коре деревьев в условиях города обнаружено 54 вида лишайников из 13 семейств и 31 рода. Видовая насыщенность семейства эпифитной лишено-

флоры составляет 4,15, рода - 1,74, родовая насыщенность семейства – 2,38. Эпифитная лихенофлора пригородной зоны характеризуется более высоким видово-семейственным (4,9) и видово-родовым соотношением (2,1) и более низким числом родов в семействе (2,31). Коэффициент сходства по Чекановскому – Серенсену двух эпифитных лихенофлор составляет 0,79.

Наибольшим числом видов характеризуются семейства *Parmeliaceae*, *Physciaceae*, *Lecanoraceae*, *Cladoniaceae* и *Teloschistaceae* (13, 11, 8, 4 и 4 вида соответственно) и в совокупности составляют 74 % общего числа видов. В эпифитной лихенофлоре города более высокую значимость имеет сем. *Teloschistaceae*, более низкую - *Biatoraceae*.

Ведущими родами в составе эпифитной лихенофлоры Екатеринбурга являются *Lecanora* (6 видов), *Physcia* (5 видов). Рода *Cladonia* и *Candelariella* включают 4 и 3 вида соответственно. Наибольшее количество видов в эпифитной лихенофлоре пригородной зоны принадлежит роду *Cladonia* (8 видов). Вторую позицию в спектре занимает род *Lecanora* (7), на третьем месте находится род *Physcia* (6 видов).

Эпифиты в г. Екатеринбурге принадлежат к трем широтным геоэлементам: бореальному (29 видов), монганному (13) и неморальному (12). В долготном спектре преобладают палкорегиональные (23), второе место по численности занимают евразоамериканские лишайники (12 видов). Особенность спектра широтных геоэлементов эпифитной лихенофлоры города состоит в уменьшении процентной доли бореальных и увеличении доли неморальных и монганых лишайников.

Основными жизненными формами эпифитной лихенофлоры Екатеринбурга являются однообразно накипная (25 видов), рассеченнолопастная ризоидальная (19) и шило-сцифовидная (4). Во флоре эпифитных лишайников пригородной зоны присутствуют эндофлеоидные виды, положение остальных жизненных форм в спектре не различается.

Лихенофлора трех основных форофитов – сосны лесной, березы бородавчатой и тополя бальзамического на территории города характеризуется тенденцией к унификации. Наиболее активными эпифитами на сосне в городе являются *Scoliciosporum chlorococcum*, *Hypocenomyce scalaris*, *Hypogymnia physodes* и *Cladonia coniocraea*. В эпифитном лишайниковом покрове тополя ведущее положение занимают *Scoliciosporum chlorococcum* и *Phaeophyscia orbicularis*.

2.6. Флора эпифитных лишайников

Эпифитная лихенофлора города включает 48 видов из 19 семейств и 29 родов. Видовая насыщенность семейства эпифитной лихенофлоры

Екатеринбурга – 2,52, рода – 1,65, родовая насыщенность семейства – 1,52. Более высокими значениями характеризуется эпилитная лишайнофлора пригородной зоны: 3,18: 1,89: 1,68. Коэффициент сходства по Чекановскому – Серенсену двух эпилитных лишайнофлор составляет 0,75.

Ядро эпилитной лишайнофлоры города составляют семейства *Parmeliaceae* и *Lecanoraceae* (10 и 8 видов соответственно), *Teloschistaceae* (5), *Hymeneliaceae*, *Rhizocarpaceae* и *Physciaceae* (по 3 вида) и включают в совокупности 66,7% видов эпилитных лишайников. По составу ведущих семейств эпилитная лишайнофлора Екатеринбурга не отличается от таковой в пригородной зоне. Сем. *Physciaceae* играет меньшую роль в сложении эпилитной лишайнофлоры города, в то же время *Teloschistaceae* поднимается с четвертой позиции в пригородной зоне на третью в Екатеринбурге.

Ведущими родами во флоре эпилитных лишайников города являются *Lecanora* (7 видов), *Caloplaca* (4 вида), *Aspicilia*, *Rhizocarpon*, *Melanelia* и *Xanthoparmelia* (по 3 вида). Двадцать родов являются монотипными. Более высокое положение в эпилитной лишайнофлоре Екатеринбурга занимают р. *Rhizocarpon* и *Xanthoparmelia*, более низкое – род *Melanelia*.

Эпилитная лишайнофлора города характеризуется значительным преобладанием монтанных видов (25) над бореальными (7), участием лишайников гипоарктомонтанного (8), степного (7) и арктовысокогорного (1) геоэлементов и отсутствием неморальных видов. Меньшую роль в сложении эпилитной лишайнофлоры города по сравнению с таковой в пригородной зоне играют бореальные виды, разделяя со степными 3 и 4 позицию, более высокую значимость (2 место) имеют лишайники гипоарктомонтанного широтного геоэлемента.

Эпилитные лишайники г. Екатеринбурга относятся к восьми жизненным формам, основными из которых являются однообразно накипная (28 видов) и рассеченнолопастная ризоидальная (12 видов). Отмечается идентичность спектров жизненных форм эпилитных лишайнофлор города и пригородной зоны.

В городе не отмечено заметной тенденции к унификации видового состава лишайников на двух основных горных породах – гранитах и пироксенитах. Наибольшей активностью на гранитах в городе характеризуются *Physcia caesia* и *Aspicilia cinerea*, суммарная доля участия которых превышает 55 %, на пироксенитах - *Acarospora fuscata*, *Umbilicaria deusta* и *Aspicilia cinerea* (41,7 %).

2.7. Флора эпигеофитных лишайников

На почве в г. Екатеринбурге обнаружено 42 вида лишайников из 13 семейств и 14 родов. Видовая насыщенность семейства в эпигеофитной лишенофлоре – 3,23, рода – 3, родовая насыщенность семейства – 1,07. Коэффициент сходства по Чекановскому – Серенсену эпигеофитных лишенофлор Екатеринбурга и пригородной зоны составляет 0,84.

Ядро эпигеофитной лишенофлоры в Екатеринбурге составляют семейства *Cladoniaceae* (21), *Peltigeraceae* (7) и *Parmeliaceae* (5 видов). Три ведущих семейства эпигеофитной лишенофлоры Екатеринбурга совпадает с ведущей тройкой в пригородной зоне. Более высоким количеством видов в пригородной зоне представлены семейства *Collemataceae* и *Physciaceae*.

Ведущим родом во флоре эпигеофитных лишайников Екатеринбурга является *Cladonia* (21 вид). Второе место занимает род *Peltigera* (7 видов), третье – *Xanthoparmelia* с тремя видами.

В географическом спектре эпигеофитных лишайников ведущими являются бореальный (20), монганый (14) и гипоарктомонганый (7 видов) геоэлементы. В пригородной зоне спектр включает дополнительно неморальный элемент, представленный единственным видом *Heterodermia speciosa*, на четвертое место (2 вида) выходят арктовысокогорные лишайники.

Основными жизненными формами эпигеофитов в городе являются шило – сцифовидная, насчитывающая 15 видов, кустистая разветвленная (7), однообразно накипная (7), широколопастная ризоидальная (7). Спектр жизненных форм эпигеофитной лишенофлоры города отличается от спектра в пригородной зоне более высоким положением группы кустистых разветвленных и более низким - рассеченнолопастных ризоидальных видов.

Таким образом, лишенофлора Екатеринбурга в – целом и ее основные составляющие компоненты (эпифитная, эпилитная и эпигеофитная) характеризуется высоким сходством с естественной флорой лишайников, что дает основание рассматривать ее как антропогенно измененный вариант естественной лишенофлоры, сохраняющий основные ее черты в таксономическом, географическом составе и в спектре жизненных форм.

Глава 3. Воздействие городской среды на лишайники

Следуя принципу деления ландшафтов по степени воздействия на них человека, предложенному Х.Трассом (Trass, 1973), территория Екатеринбурга подразделена на 3 зоны: центральную часть города, периферическую и лесопарковую зоны.

3.1. Распространение эпифитных лишайников в городе

В центральной части Екатеринбурга обнаружено 22 вида эпифитных лишайников, в периферической – 32, в лесопарковой – 50, в пригородной зоне – 78 видов. Во всех трех зонах города встречается 20 видов эпифитных лишайников, в периферической и лесопарковой – 9 видов, 20 видов обнаружены только в лесопарковой зоне. Два вида - *Xanthoria fallax* и *Xanthoria parietina* – встречаются в центральной части города, *Candelariella aurella* и *Candelariella xanthostigma* – в периферической части.

Неравномерность распространения видов по территории города приводит к изменению спектров ведущих семейств в трех выделенных зонах. В составе эпифитной лишайнофлоры центральной части города доминируют сем. *Physciaceae*, *Lecanoraceae* и *Teloschistaceae*, периферической - *Physciaceae*, *Lecanoraceae* и *Parmeliaceae*, лесопарковой и пригородной – *Parmeliaceae*, *Physciaceae* и *Lecanoraceae*.

3.2. Факторы, определяющие изменение лишайнофлоры города

В разделах 3.2.1. – 3.2.3. проведено зонирование города на основании данных по загрязнению воздуха, почв и кислотности корки деревьев.

3.2.4. Воздействие загрязнителей на эпифитные лишайниковые группировки

Наибольшее воздействие на видовую насыщенность эпифитных лишайниковых группировок оказывают тяжелые металлы, загрязнение ионами аммония и повышение рН корки форофитов.

Загрязнение металлами вызывает уменьшение проективного покрытия большинства лишайников. При действии нитратов, ионов аммония и повышении рН корки ряд видов формирует максимальное проективное покрытие при средних и наибольших концентрациях поллютантов. Типичных нитрофильных лишайников в Екатеринбурге не обнаружено; виды образуют максимальное проективное покрытие при средних значениях загрязненности NO_3^- или достоверно не реагируют на нитраты. К аммонифилам могут быть отнесены *Phaeophyscia nigricans* и *Physcia stellaris*.

3.2.5. Влияние параметров экотона на эпифитные лишайниковые группировки

С увеличением возраста, диаметра стволов и сомкнутости крон древостоя количество видов в лишайниковых группировках на сосне остается неизменным или уменьшается. На тополе количество видов возрастает с увеличением возраста, диаметра и наклона ствола и уменьшается с увеличением сомкнутости крон.

Проективное покрытие лишайниковых группировок на сосне возрастает с увеличением возраста, диаметра, наклона стволов и возрастом сомкнутости крон. Проективное покрытие группировок на тополе определяют возраст, диаметр и наклон ствола форофита.

Реакция эпифитных лишайников на изменение экологических параметров видоспецифична. Однако, для большинства видов увеличение проективного покрытия зависит от возраста форофитов и увеличения угла наклона ствола.

3.3. Группы устойчивости лишайников

С использованием данных по распространению видов и состоянию слоевищ на территории Екатеринбурга были выделены толерантные (*Amandinea punctata*, *Caloplaca holocarpa*, *Candelariella vitellina*, *Cladonia coniocraea*, *Lecania cyrtella*, *Lecanora hagenii*, *Parmelia sulcata*, *Phaeophyscia nigricans*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia dubia*, *Physcia stellaris*, *Scoliosporum chlorococcum* и др.), умеренно толерантные (*Caloplaca cerina*, *Candelariella aurella*, *Cladonia fimbriata*, *Hypocenomyce scalaris*, *Hypogymnia physodes*, *Physcia adscendens*, *Physcia caesia*, *Xanthoria fallax*, *Xanthoria parietina* и др.), умеренно чувствительные (*Candelariella xanthostigma*, *Evermia mesomorpha*, *Hypogymnia tubulosa*, *Melanelia olivacea*, *Physcia aipolia*, *Physconia detersa*, *Rinodina sophodes*, *Tuckermannopsis sepincola*, *Usnea subfloridana*, *Vulpicida pinastri* и др.), чувствительные (*Bryoria fuscescens*, *Flavopunctelia soredica*, *Lecanora chlorotera*, *Lecanora expallens*, *Melanelia exasperatula*, *Parmeliopsis ambigua*, *Tuckermannopsis chlorophylla* и др.) виды.

Применение дисперсионного анализа позволило установить, что проективное покрытие большинства умеренно толерантных и толерантных видов в городе определяется загрязнением, другой группы устойчивых лишайников (*Caloplaca holocarpa*, *Physcia dubia*, *Lecanora hagenii*) – параметрами экотопа. Загрязнители имеют для них второстепенное значение. Статистическими методами обнаружено совместное действие загрязнителей и естественных параметров экотопа в определении проективного покрытия толерантных и умеренно толерантных видов. В условиях загрязнения благоприятное воздействие на большинство лишайников оказывает увеличение возраста форофита, наклона стволов и сомкнутости крон.

Глава 4. Особенности строения и размножения лишайников в городской среде

В ходе работы оценено изменение морфологии, толщины анатомических слоев и продукции вегетативных диаспор у видов, относящихся к различным группам устойчивости.

4.1. Морфология и анатомия лишайников

В условиях города толерантный вид *Parmelia sulcata* и умеренно толерантный *Hypogymnia physodes* уменьшают размеры талломов в 4 и 3 раза соответственно. У толерантного вида *Phaeophyscia orbicularis* слоевища из города не отличаются по размеру от талломов из пригородной зоны. С усилением антропогенной нагрузки увеличивается количество пораженных слоевищ *Parmelia sulcata* и *Hypogymnia physodes*, состояние талломов *Phaeophyscia orbicularis* не проявляет прямой зависимости от степени антропогенной нарушенности, однако в центре города присутствуют талломы этого вида с низким баллом жизнестойкости.

Слоевища лишайников в условиях города изменяют толщину анатомических слоев. У толерантного вида *Parmelia sulcata* происходит уменьшение толщины верхнего корового слоя, сердцевинки и увеличение водорослевой зоны. Так, альгальный слой этого вида в центральной части города по сравнению с пригородной зоной увеличивается в 2 раза, а различия между максимальным и минимальным значением толщины медуллы составляют 30 %. Отношение толщины водорослевого слоя к сердцевинке у *Parmelia sulcata* в условиях города увеличивается. Изменение анатомических слоев умеренно толерантного вида *Hypogymnia physodes* проявляет сходные тенденции, но наибольшим варьированием характеризуется сердцевинка.

Толерантный вид *Phaeophyscia orbicularis* в городе уменьшает толщину верхнего корового слоя. Толщина водорослевого слоя только на одной пробной площади в центре города достоверно ниже этого показателя в пригородной зоне. Минимальные значения толщины сердцевинки отмечены в периферической части и в центре города. Отношение водорослевого слоя к сердцевинке, в отличие от предыдущих видов, в градиенте антропогенной нарушенности варьирует незначительно.

Использование дисперсионного анализа показало связь анатомической структуры лишайников с загрязненностью тяжелыми металлами и нитрат – ионом. У *Parmelia sulcata* при действии загрязнителей наибольшим изменениям подвергается водорослевый слой, у *Hypogymnia physodes* – сердцевинка.

4.2. Особенности генеративной сферы лишайников

4.2.1. Генеративный спектр лишайников в условиях города

Лишайники, обитающие в Екатеринбурге, образуют четыре основных типа пропатул: споры, соредии, изидии и фрагменты таллома. При этом у ряда видов наблюдаются их комбинации. Наибольшее число видов на

территории города образует споры (51 %), на втором месте по числу видов – размножающиеся соредиями (22%), наименьшее число видов образуют изидии (4%), а также соредии и изидии одновременно (4%). Соотношение групп видов, выделенных по типу образуемых ими диаспор, в трех зонах города и в пригородной зоне различаются. В центральной и периферической части города среди эпифитов выделено только три группы видов, в пригородной зоне выделяется шесть групп лишайников. В то же время соотношение количества видов, размножающихся только половым (спорами) и вегетативным (соредии, фрагментация, изидии) путем в трех зонах города подвержено незначительным колебаниям; таким образом, для эпифитов в районе исследования не подтверждается отмеченная в литературе закономерность увеличения доли вегетативно размножающихся видов при усилении антропогенного воздействия. Значительное участие спорообразующих лишайников в центре Екатеринбурга связано прежде всего с соотношением жизненных форм и размножением половым путем преимущественно накипных лишайников. Однако в пределах группы листоватых (*Hypogymnia physodes*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia caesia*) в центральной части города наблюдается переход только на вегетативный способ размножения. Спорообразующие виды *Physcia stellaris* и *Physconia distorta* в центре и периферической части города представлены исключительно стерильными талломами.

4.2.2. Соредиеобразование у лишайников

Основным способом размножения листоватых лишайников в городе является вегетативный. Произведена оценка образования соралей у листоватых лишайников, относящихся к различным группам устойчивости – *Hypogymnia physodes* и *Phaeophyscia orbicularis*.

У толерантного вида *Phaeophyscia orbicularis* в городских условиях увеличивается относительная площадь соралей на слоевищах. Сравнение средних по t – критерию показало достоверное их различие при $p << 0,01$. Умеренно толерантный вид *Hypogymnia physodes*, в отличие от устойчивого, в нарушенных местообитаниях уменьшает относительную площадь соралей на талломах.

Использование статистических методов обнаруживают достоверную корреляцию между уровнем загрязненности тяжелыми металлами ($r = - 0,60$) и нитрат - ионом ($r = - 0,44$) и соредиеозностью *Hypogymnia physodes*. Соредиеобразование толерантного вида не коррелирует с загрязнением.

Различия в степени развития соралей у изученных видов соответствуют анатомическим изменениям. Наиболее четко это проявляется у *Hypogymnia*

physodes, уменьшение соредииности которой соответствует увеличению толщины водорослевого слоя ($r = -0,64$). Для толерантного вида также отмечена обратная зависимость этих показателей, но коэффициент корреляции значительно ниже ($r = -0,28$).

Глава 5. Лихеноиндикационное картирование

Существует несколько типов лихеноиндикационных карт, различающихся по характеру данных, которые могут быть положены в основу их построения (Мартин, 1984): 1. Карты распространения и состояния видов; 2. Карты эпифитной растительности; 3. Карты на основе синтетических показателей. С целью лихеноиндикационного картирования территории Екатеринбурга были использованы флористический и экоморфологический методы и индекс IAP.

5.1. Карты распространения видов

На основании проведенных исследований построены карты распространения эпифитных лишайников на территории г. Екатеринбурга. Для ряда эпифитов в городе можно выделить границы распространения, в пределах которых они не встречаются. Эти границы положены в основу составления карты распространения индикаторных видов. Кроме возможности четкого очерчивания границ распространения, необходимым условием выделения индикаторных видов является их легкая диагностика. К этой группе отнесены *Evernia mesomorpha*, *Melanelia olivacea*, *Tuckermannopsis sepincola*, *Usnea subfloridana*, *Vulpicida pinastri*, *Cladonia fimbriata*, *Hypocenomyce scalaris* и *Candelariella vitellina*. Территория, ограниченная линией распространения индикаторных видов из группы умеренно чувствительных совпадает с границами лесопарковой зоны. Зона города, выделенная по местонахождениям умеренно толерантного вида *Hypocenomyce scalaris* в целом, соответствует границе периферической зоны. Зона, заключенная в пределы границы распространения *Candelariella vitellina* является наиболее антропогенно нарушенной частью города.

5.2. Карты количества видов

Для эпифитов березы, сосны и тополя были составлены карты, отражающие общее количество видов лишайников в квадрате. В центральной части города видовой состав лишайников на сосне и березе наиболее низкий - от 1 до 4 видов в квадрате. В лесопарковой зоне количество эпифитных видов на обоих форофитах повышается: на сосне - до 7 видов, на березе - до 15. В центре города на стволах тополя обнаружено от 5 до 8 видов эпифитов. Остальные части города, не относящиеся к лесопарковой зоне характери-

зуются более низким видовым разнообразием – 1 – 4 вида. В лесопарковой зоне количество видов лишайников на тополе достигает 13 – 16 в квадрате. В целом, наиболее показательным является количество эпифитов на березе.

5.3. Карты жизненности лишайников

На основании спектра жизненности талломов *Parmelia sulcata* в разных частях города построена карта состояния слоевищ этого вида. В лесопарковой зоне города доля слоевищ *Parmelia sulcata* высокой жизненности (балл 3) составляет от 30 до 10%; в периферической зоне доля талломов средней жизненности (балл 2) - около 85% и отсутствуют слоевища с высокой жизненностью; в центральной части города доля талломов средней жизненности составляет от 55 до 30% и значительна доля пораженных слоевищ с баллом 1.

5.4. Карты на основе индекса атмосферного загрязнения

Значение IAP для эпифитов тополя в пригородной зоне составляет 28,3, в городе – от 28,6 в лесопарковой зоне до 7,7 в парках центра города, для эпифитов сосны – 6 – в пригородной зоне и от 4 до 1,5 в городе.

IAP, рассчитанный на основании характеристик эпифитных группировок тополя может быть использован для зонирования. Градиент величин IAP в направлении уменьшения протягивается с юго – запада на северо - восток, что совпадает с направлением преобладающих ветров, наименьшие значения IAP соответствуют центру города. Однако, в лесопарковой зоне, где встречаются нехарактерные для тополя лишайники, индекс оказывается выше, чем в пригородной зоне, что не соответствует реальной загрязненности территории. IAP для эпифитов сосны в пригородной зоне в два раза превышает средний по городу, но, в связи с низким видовым разнообразием лишайников на этом форофите и доминированием одного вида, он практически постоянен на всей территории города и, соответственно, не позволяет выявить мозаичность загрязнения.

По нашему мнению, лучшими методами лишеноиндикационного картирования на территории г. Екатеринбурга являются карты распространения видов, позволившие выделить в городе четыре зоны, соответствующие различному уровню антропогенного воздействия. Карты количества видов в квадрате также являются достаточно информативными, однако анализ нарушенности территории города с их использованием является более сложным методом и требует затрат времени и диагностики всех видов.

ВЫВОДЫ

1. Лихенофлора Екатеринбурга включает 123 вида лишайников из 50 родов и 25 семейств. К пяти ведущим семействам - *Cladoniaceae*, *Parmeliaceae*, *Lecanoraceae*, *Physciaceae* и *Teloschistaceae* - принадлежат 66,7 % видов. К эпифитной лихенофлоре города относятся 54 вида лишайников из 31 рода и 13 семейств, к эпилитной - 48 видов из 29 родов и 19 семейств, эпигеифитной - 42 вида из 14 родов и 13 семейств.

2. В спектре широтных геоэлементов флоры лишайников Екатеринбурга доминируют бореальные виды (40,7%), что является отражением ее приуроченности к подзоне южной тайги, а высокое количество монтанных (30,1%) лишайников – к восточным предгорьям Урала. Из долготных групп преобладают пшкорегиональные виды (42,2%).

3. Наибольшее количество видов принадлежит к группам однообразно накипных (42,4%), рассеченнолопастных ризондальных (22,8%) и шило – сцифовидных (13,8%) лишайников. В экологическом спектре доминируют облигатные эпифиты (26,8%), эпилиты (25,2%) и эпигеифиты (16,3 %).

4. Лихенофлора Екатеринбурга характеризуется высоким сходством по таксономической, географической структуре и спектру жизненных форм с флорой лишайников пригородной зоны; по таксономическому составу с лихенофлорой Среднего Урала и может рассматриваться как антропогенно измененный вариант естественной флоры.

5. Наименьшим видовым разнообразием характеризуется эпифитная лихенофлора центральной части города - 22 вида лишайников. Ее характерной особенностью является доминирование семейства *Physciaceae* и *Lecanoraceae* и высокое положение в спектре ведущих семейства *Teloschistaceae*. С уменьшением антропогенной нагрузки видовое разнообразие эпифитных лишайников растет и достигает в периферической зоне города 32 вида, лесопарковой – 50, пригородной – 78 видов. В наименее нарушенных зонах первое место по числу видов принадлежит сем. *Parmeliaceae*.

6. Загрязнение является ведущим фактором, определяющим проективное покрытие и распространение эпифитов в городе. Влияние поллютантов на лишайники видоспецифично. Проективное покрытие видов, наряду с загрязнением, определяют естественные параметры экотопа.

7. В условиях города происходит изменение толщины анатомических слоев талломов лишайников. Наиболее вариабельными слоями являются водорослевая зона и сердцевина. Виды, размножающиеся соредиями в

городских условиях отличаются по степени развития соралей: более устойчивые имеют большую площадь соралей на слоевище.

8. Методами лишеноиндикационного картирования, дающими наиболее объективный результат на территории Екатеринбурга, являются карты распространения видов и количества видов в квадратах.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Пауков А.Г. Закономерности стационального распределения лишайников в условиях антропогенной нагрузки // Механизмы поддержания биологического разнообразия (материалы конференции) Екатеринбург, 1995. С. 116-118.
2. Пауков А.Г. Использование MsACCESS для экологических работ в лишенологии // Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях (сборник научных трудов). Санкт-Петербург, 1997. С.78-80.
3. Пауков А.Г. Эпифитные лишайники г. Екатеринбурга // Проблемы изучения биоразнообразия на популяционном и экосистемном уровне (материалы конференции). Екатеринбург, 1997. С.163-166.
4. Пауков А.Г. Лишеноиндикационное картирование г.Екатеринбурга // Актуальные проблемы биологии (тезисы докладов). Сыктывкар, 1998. С.139-140.
5. Пауков А.Г. Устойчивость лишайников к антропогенному стрессу // Проблемы ботаники на рубеже XX-XXI веков (тезисы докладов). Т.2. Санкт-Петербург, 1998. С.75.
6. Пауков А.Г. Соредиеобразование у лишайников в условиях антропогенного стресса // Современные проблемы популяционной, исторической и прикладной экологии (материалы конференции). Екатеринбург, 1998. С. 116-124.
7. Пауков А.Г. Находки *Caloplaca grimmiae* (LICHENES) на Среднем Урале // Ботанический журнал. 1999. Т.84, № 5. С.136-137.
8. Пауков А.Г., Гулика И.С. Анатомическое строение лишайников в антропогенно нарушенных местообитаниях // Развитие идей акад. С.С. Шварца в современной экологии (материалы региональной конференции молодых ученых - экологов). Екатеринбург, 1999. С. 134-140.
9. Пауков А.Г. Влияние параметров местообитания и загрязнителей на лишайники в условиях города Екатеринбурга // Стратегические направления экологических исследований и экологическая политика. Екатеринбург, 1999. С. 61-62.
10. Пауков А.Г., Гулика И.С. Количественные характеристики фотобионта лишайника *Parmelia sulcata* Tayl. в условиях городской среды // Тезисы VII молодежной конференции ботаников в Санкт – Петербурге (15 – 19 мая 2000 г) С. – Петербург, 2000. С. 76.
11. Пауков А.Г. Флора лишайников г. Екатеринбурга // Программа и тезисы докладов Первой Российской лишенологической школы и международного симпозиума молодых лишенологов “Арктоальпийская флора. Охрана лишайников”. Апатиты, 2000. С. 52-53.

200

Отпечатано в копи-центре «Копирус»

Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 137

Подписано в печать 02.04.2001 г.

Объем 1 п.л.

Тираж 100 экз.
