На правах рукописи

Сафранкова Екатерина Алексеевна

### КОМПЛЕКСНАЯ ЛИХЕНОИНДИКАЦИЯ ОБЩЕГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ УРБОЭКОСИСТЕМ

Специальность 03.02.08 – Экология (биологические науки)

### АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук

Работа выполнена на кафедре экологии и рационального природопользования ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

Научныи руководитель:	доктор сельскохозяиственных наук, профессор Анищенко Лидия Николаевна						
Официальные оппоненты:	Нотов Александр Александрович доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет» (г. Тверь).						
	лаборатории на ФГБУН «Центральный си	димировна наук, научный сотрудник изших растений обирский ботанический сад оссийской академии наук»					
Ведущая организация: университет»	ФГБОУ ВПО «Смо.	ленский государственный					
заседании диссертационно государственный универси зале по адресу: 241036, г. I (общежитие № 4). Телефон (4832) 66-65-	ого совета Д 212.020.03 пр итет имени академика И.Г.	2014 г. в часов на ои ФГБОУ ВПО «Брянский Петровского» в конференц- Інформационный центр БГУ					
-		еке ФГБОУ ВПО «Брянский Г. Петровского» и на сайте					
РФ: <u>www.vak.ed.gov.ru</u> и ФІ	.«»2014 г. и ГБОУ ВПО «Брянский госу, ровского»: <u>http://www.brgu.r</u>	дарственный университет					
Ученый секретарь диссерта совета, кандидат биологических на	Jul	Н.Н. Панасенко					

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Лихеноиндикация широко используется в биомониторинге состояния сред обитания, в том числе и в урбоэкосистемах, как приоритетное направление современных экотоксикологических и мониторинговых исследований (Бязров, 2002, 2005; Monitoring with lichens – monitoring lichens, 2002; Байбаков, 2002, 2003; Пчёлкин, 2003; Малышева, 2005, 2006, 2007; Шарунова, 2008; Баумгартнер, 2012).

Применение лишайников и их синузий в биоиндикации позволяет прогнозировать во времени уровень загрязнения, динамику качества окружающей среды, состояние компонентов сообществ, проводить крупномасштабное картирование территорий (Бязров, 2002; Скирина, Коженкова, 2005; Свирко, Страховенко, 2006). За последние 15 лет детально изучена лихенофлора крупных и малых городов Сибири, юга и северозапада России, выявлены биоиндикаторы и показатели их биотического разнообразия, рассчитаны синтетические лихеноиндикационные индексы, проведено зонирование территории по степени загрязнения атмосферы (Бязров, 1998, 1998 а, 2007; Пауков, 2001; Закутнова, 2004; Кочергинаи др., 2004; Мучник, 2004; Гелашвили и др., 2005; Скирина, 2005; Меркулова, 2006; Миннуллина, 2006; Свирко, 2006; Романова, 2008; Меденец, 2010; Гайдыш, 2012; Дунаева, 2012; Мандра, 2012; Романова, Седельникова, 2012 и др.). Совершенствование традиционных лихеноиндикационных методов вызвано необходимостью учета региональных условий, учета дополнительных экологических факторов, влияющих на отклик лихеноиндикатора в урбоэкосистемах, сочетания флористических, токсикологических и химических методик, a также долговременных наблюдений.

Для городов староосвоенного региона России (Брянской и Орловской областей) особенно актуальны экомониторинговые исследования состояния атмосферы лихеноиндикационным методом с использованием эпифитных видов как наиболее чувствительных к загрязнению (Мартин, 1987; Инсаров, 2002; Крючкова, 2006; Бязров, Пельгунова, 2012). В этой связи комплексная лихеноиндикация урбоэкосистем с применением количественных (объективных) и сочетанных методик открывает новые возможности мониторинговых оценок состояния атмосферы, разработки мероприятий по планированию городского развития.

**Цель и задачи исследования. Цель** исследования — провести оценку общего состояния атмосферы урбоэкосистем методом лихеноиндикации в динамическом аспекте на региональной основе (в Брянской и Орловской областях).

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- 1. Исследовать эпифитную лихенофлору малых и крупных городов Нечерноземья России, выявить перспективные биоиндикаторы и их информативные показатели на уровне популяций, видов.
- 2. Проанализировать динамику общего состояния атмосферы урбоэкосистем крупных и малых городов Нечерноземья России на основе синтетических лихеноиндикационных индексов.
- 3. Провести лихеноиндикационное зонирование и районирование территории урбоэкосистем и оценить уровень атмосферного загрязнения.
- 4. Установить роль лишайникового компонента экосистем в миграциях элементов группы тяжелых металлов (ТМ) как биоиндикационный признак.
  - 5. Обосновать систему лихеномониторинга на региональной основе.

### Научная новизна и теоретическая значимость работы заключается в том, что:

1. Проведен комплексный анализ эпифитных лихенофлор малых и крупных населённых пунктов Брянской области в целях биомониторинга с выделением перспективных биоиндикаторов и лихеноиндикационных показателей для диагностики

общего состояния атмосферы, групп видов, различных по чувствительности к общему состоянию атмосферы.

- 2. Разработаны лихеноиндикационные карты на основе синтетических индексов полеотолерантности и атмосферной чистоты за многолетний период (18-летний) для урбоэкосистем Нечерноземья России, карты распространения ТМ.
- 3. На основе применения количественных методических подходов к анализу эпифитных лихеносинузий предложен лишайниковый индекс (L), не зависящий от индивидуальных коэффициентов полеотолерантности, показателей обилия-покрытия лихенобиоты в урбанизированной среде.
- 4. По отношению к элементам группы тяжелых металлов (ТМ) дана оценка накопительным возможностям фоновых видов лихенофлоры урбоэкосистем.
- 5. Выявлены критерии для лихеноиндикационного зонирования территории малых и крупных городов Нечерноземья России.

#### Зашишаемые положения.

- 1. Особенности видового состава, таксономических, экобиоморфологических и синузиальных показателей эпифитных лишайников как основа лихеноиндикации в малых и крупных урбоэкосистемах.
- 2. Влияние экологического фактора общего состояния атмосферы городов на таксономические и накопительные особенности эпифитных лишайников по отношению к ТМ.
- 3. Методика оценки индивидуальной чувствительности эпифитных лишайников к общему атмосферному загрязнению.
- 4. Синтетические лихеноиндикационные индексы (индекс полеотолерантности, индекс атмосферной чистоты) и значения валовой концентрации ТМ в слоевищах критерии для зонирования и районирования территорий урбоэкосистем.
- 5. Биомониторинг общего состояния атмосферы крупной урбоэкосистемы за 18-летний период.

Практическое значение. Результаты лихеноиндикационного зонирования и районирования территорий городов используются в работах специалистов, отвечающих за качество среды и здоровье населения, в оценке антропогенной нарушенности природных комплексов, а также для целей биоиндикации и биомониторинга. Апробированные лихеноиндикационные методики, региональные коэффициенты полеотолерантности рекомендованы и включены в Регламент биомониторинга по обследованию территорий опасных техногенных объектов (объект 1204 Почепского района Брянской области) для выявления общего состояния атмосферы, движения загрязненных воздушных масс, зонирования территории. Полученные результаты изучения видового состава эпифитных лишайников использованы для составления региональных лихенофлористических списков, для уточнения экологии, географии и видов. Элементы лихеноиндикационных отдельных исследований апробированы в общеобразовательных учебных заведениях г. Брянска и Брянской области.

**Личный вклад автора**. Диссертация является результатом многолетних исследований. Автор разработала программу и методику экспериментов, провела обработку материала, сделала обобщение и анализ, сформулировала полученные выводы и провела публикацию результатов.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности, по которой она рекомендуется к защите. Проведенные исследования, соответствуют паспорту специальностей научных работников (по номенклатуре специальностей 2009 года), шифру специальности 03.02.08 — Экология, область исследования — факториальная

экология (исследование влияния абиотических факторов на живые организмы в природных и лабораторных условиях с целью установления пределов толерантности и оценки устойчивости организмов к внешним воздействиям); популяционная экология (установление механизмов, лежащих в основе регуляции численности видов и обеспечивающих устойчивость популяции в изменяющихся биотических и абиотических условиях); прикладная экология (исследование влияния антропогенных факторов на экосистемы различных уровней с целью разработки экологически обоснованных норм воздействия хозяйственной деятельности человека на живую природу).

Связь с научными программами и плановыми научными исследованиями. Работа методом лихеноиндикации проводилось в соответствии с планом НИЛ «Мониторинга сред обитания» Брянского государственного университета по программе «Разработка региональных основ мониторинга», на основании областных целевых программам «Охрана окружающей среды, воспроизводство и использование природных ресурсов Брянской области (2012-2015 гг.), в соответствии с комплексом мероприятий Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в РФ» по экомониторингу районов объекта по утилизации химического оружия. Работы поддержаны внутривузовскими грантами БГУ № 48-И-ст (2012 г.), № 6-И-ст (2013 г.), грантом Губернатора Брянской области молодым ученым региона в номинации естественные науки № 01 (2012 г.).

Апробация работы. Результаты работы были доложены на 11 международных конференциях: «Экологическая безопасность региона» (Брянск, 2010, 2011, 2012, 2013), «Естественные науки: вопросы биологии, химии, физики» (Новосибирск, 2012), «Ломоносов 2013» (Москва, 2013), «Биология – наука XXI века» (Пущино, 2013), «Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах СНГ» (Переяслав-Хмельницкий, апрель 2013, июнь 2013), «Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов» (Брянск, 2013), «Естественные и медицинские науки: актуальные проблемы и перспективы развития» (Киев, 2013); «Антропогенная трансформация Всероссийских конференциях: природных экосистем» (Балашов, 2010), «Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон» (Балашов, 2012), «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2013), «Молодежь и наука на севере» (Сыктывкар, 2013).

Внедрение результатов исследования в практику. Результаты многолетних исследований используются в практике высших учебных заведений при чтении курсов «Общая экология», «Биоразнообразие», «Экологический мониторинг», «Оценка воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на среду обитания и здоровье человека», «Экосистемное разнообразие», «Методы оценки биоразнообразия». Показатели лихеноиндикаторов используются для диагностики качества среды обитания в районе объекта по утилизации химического оружия в Брянской области, общего состояния экосистем мегаполисов (Акты о внедрении ГПБУ «Управление ООПТ по СВАО»: «Оценка состояния природной среды на основе лихенологических данных», «Блок биомониторинга в системе экоаналитических исследований на опасных техногенных объектах и в урбоэкосистемах»).

Сформированный гербарий эпифитной лихенофлоры передан на кафедру ботаники БГУ (BRSU). По результатам исследования зарегистрирована заявка на патент «Индекс лихеноиндикации» (2013 г.) № 2013146151 (ФИПС).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендуемых Перечнем ... ВАК РФ, глава в рецензируемой монографии.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация изложена на 204 страницах компьютерного текста и включает общую характеристику работы, 4 главы, выводы, практические рекомендации, библиографический список и 9 приложений. Основной текст диссертации изложен на 129 страницах машинописного текста, приложение — на 75 страницах. Список используемых литературных источников насчитывает 256 наименований, в том числе 56 — на иностранных языках. Текст иллюстрируют 21 таблица и 106 рисунков.

**Благодарности**. Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам экоаналитического отдела РЦЭК и М по Брянской области за помощь в проведении химических исследований образцов эпифитных лишайников на содержание ТМ.

### 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Рассмотрено развитие метода лихеноиндикации на аут-, дем- и синэкологическом осуществления биомониторинга, инвентаризации биоразнообразия и прикладных экологических мероприятий ПО оптимизации планирования территориального развития, разработки материалов по оценке воздействия на среды обитания и человека, экологической экспертизе (Barkman, 1958; LeBlanc, De Sloover, 1970; Lichens as bioindicators of air quality, 1973; LeBlanc, Rao, 1973 b, 1975; Air pollution and lichens, 1973; Martin, 1974; Lawrey, Hale, 1980; Мартин, 1982, 1987; Beckett, Brown, 1984, 1984 a; Трасс и др., 1987; Wittig, 1993; Пчёлкин, 2002, 2003, 2005; Миннуллина, 2006 и др.). Описаны лихеноиндикационные признаки на уровне морфологии и физиологии особей видов (Голубкова, 1977 a, 1977 б; Lawrey J.D., Hale M.E., 1977; Мартин, 1982; Шапошникова, 1981; Инсарова, 1982, 1983; Трасс и др., 1987; Scott, Hutchinson, 1989, 1990; Шапиро, 1991, 1993, 1996; Михайлова, Воробейчик, 1995; Отнюкова, Крючкова, 2001, 2003; Бязров Л.Г., 1992, 1998, 2002; Пчелкин, 2002; Михайлова, 2005; Крючкова, 2006 и др.). Индивидуальные особенности накопления лишайниками в слоевищах поллютантов использованы для картирования загрязнения в урбоэкосистемах, а также в естественных сообществах с последующим зонированием территории (Мартин, 1974; Мартин и Мартин, 1974 а; Мартин, Трасс, 1974; Мартин, 1976, 1978; van Herk, 1999; van Herk et al., 2002).

Определены особенности демэкологических исследований лишайников и анализ онтогенетической структуры популяций (Михайлова, Воробейчик, 1999; Суетина, 2001; Суетина, Ямбердова, 2010; Суетина, Глотов, 2010). При анализе синэкологических исследований лихеноиндикационные признаки биоразнообразия: число видов, обилие, встречаемость, охватывающие альфа- и бета разнообразие сообществ (Трасс, 1968, 1970; Мэгарран, 1992; van Dobben, Ter-Braak, 1999; Бязров, 2002; Гелашвили и др., 2005 и др.).

Рассмотрены лихеноиндикационные исследования компонентов сред обитания в городах. Показано, что городская лихенофлора и лишайниковые синузии — надежные биоиндикаторы состояния сред обитания урбанизированных территорий (Лийв, 1988; Малышева, 1999; Бесполитова, Кавеленова, 2001; Бязров, 2002; Малышева, 2005; Антипина, 2013 и др.).

### 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования общего состояния атмосферы урбоэкосистем методом лихеноиндикации выполнены в Брянской области (гг. Брянске, Жуковке, Дятьково, Сельцо, Новозыбкове, Трубчевске, Севске, пгт Навля, Суземка) и г. Орле (Орловской области) (рис. 1). Исследуемая территория расположена в умеренно-континентальном климате, в западной подобласти Атлантико-континентальной лесной зоны (Природные ресурсы и окружающая среда ..., 2007).

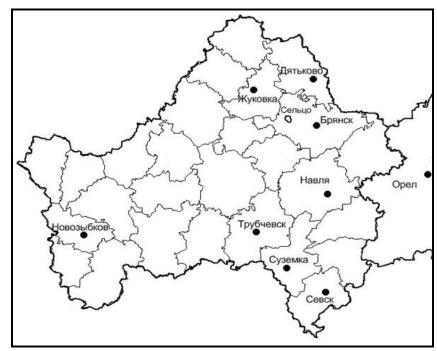


Рисунок 1 – Населённые пункты района исследования

Крупные и малые урбоэкосистемы находятся на западной окраине Среднерусской возвышенности и переходящей на западе в восточную окраину Днепровской депрессии, полесской среднерусской физико-географических провинциях (Физикогеографическое районирование..., 1963; Агроклиматические ..., 1972; Природное геоботаническому районирование 1975). Согласно районированию район . . . . исследования относится к Брянскому округу хвойно-широколиственных лесов Северодвинско-Верхнеднепровской подпровинции Североевропейской провинции (Геоботаническое районирование Нечерноземья ..., 1978).

Площади малых городов и посёлков городского типа от 12,7 км<sup>2</sup> до 33,0 км<sup>2</sup>, с населением от 7,0 до 40,5 тыс. человек. Брянск — крупный промышленный центр с густой транспортной сетью, площадью 230 км<sup>2</sup>, с многоядерной структурой, находится на стыке двух природных зон — хвойно-широколиственных и широколиственных лесов (Растительность европейской части СССР, 1980; Лаппо, 1997). Численность жителей — 411 тысяч. Орёл — расположен на Среднерусской возвышенности по обеим сторонам реки Оки и её притока Орлика, площадь многоядерного города с четырьмя административными районами — 127, 8 км<sup>2</sup> и 318,1 тысячами жителей.

### 3 ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выполнении исследований на территории Брянской области и г. Орла применялись маршрутные, флористические, лабораторно-химические (определение валового содержания ТМ, токсичности проб лихенобиоты), статистические методы исследования. Собрано и обработано для определения видового состава 320 образцов эпифитных лишайников, гербарий передан в гербарий Брянского государственного университета (BRSU). Проведен химический анализ 287 проб эпифитной лихенобиоты в городах Нечерноземья России, 120-и образцов – токсикологический анализ.

При описании эпифитной лихенофлоры использовали маршрутный метод со сбором образцом и их последующим определением в камеральных условиях с помощью общепринятых определителей: Н.С. Голубковой (1966), Н.С. Голубковой и соавторов (1978, 1996), Н. Окснера (1974), Определителю лишайников СССР (1971, 1978), Т.Ю. Толпышевой (2010). При географическом и биоморфологическом анализе лихенофлоры за основу была принята классификация географических элементов, разработанная А. Н.

Окснером (1974), Н. С. Голубковой (1965, 1966, 1983). Номенклатура видов лишайников указана согласно VI-VII выпускам «Определителя лишайников России», «Списку лихенофлоры России» (2010), сосудистых растений — по сводке С.К. Черепанова (1995). При сборе лишайников указывали вид субстрата, место произрастания, диагностировали сопутствующие факторы. По результатам инвентаризации разнообразия эпифитной лихенобиоты рассчитывали коэффициент сходства Жаккара и строили дендрит сходства методом максимального корреляционного пути с применением пакета программ Statistica 6.0 (Шмидт, 1984).

Для установления индикаторной информативности лишайников (региональных коэффициентов полеотолерантности) был использован метод непрямой ординации, примененный Л. Мартином (1978), Х.Х. Трассом (1968) (Мартин, Трасс, 1987; Трасс, 1968). Использовались установленные ранее методом непрямой линейной ординации коэффициенты полеотолерантности для условий Брянской области с дополнениями (Анищенко, 2001, 2012).

На основании геоботанических описаний лихеносинузий по Л.Г. Раменскому (1938) в модификации Х.Х. Трасса (1968) рассчитывался синтетический индекс полеотолерантности (ИП) (Трасс, 1968, 1985).

$$\Pi = \sum_{i=1}^{n} \frac{a_i \times c_i}{C_n}$$
, где  $a_i$  - коэффициент полеотолерантности вида;  $c_i$  - покрытие

вида в баллах (по шкале Ж. Браун-Бланке);  $C_n$  — суммарное покрытие видов. Покрытие видов (Голубкова, Малышева, 1978): 1-2% - 1 балл, 3-5% - 2 балла, 6-10% - 3 балла, 11-20% - 4 балла, 21-30% - 5 баллов, 31-40% - 6 баллов, 41-50% - 7 баллов, 51-65% - 8 баллов, 66-80% — 9 баллов, 81-100% - 10 баллов.

На основании собранных данных вычислялся синтетический индекс атмосферной чистоты (ИАЧ) по формуле De Sloover, Le Blanc (1968).

$$\text{ИАЧ} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{i} \cdot f_{i}}{10}$$
, где  $Q_{i}$  - индекс токсифобности, т.е. количество видов,

сопутствующих данному виду на всех площадях описания в гомогенном по степени загрязненности местообитания;  $f_i$  - значения покрытия вида по 5 балльной шкале: 1 балл – очень редко, с очень низким покрытием; 2 — редко или с низким покрытием; 3 — редко и со средним покрытием и на некоторых стволах; 4 — часто или с высоким покрытием на некоторых стволах; 5 — очень часто и с очень высоким покрытием на большинстве стволов. Чем больше Q, тем полефобнее вид. Для расчетов ИАЧ принимался во внимание как фоновый вид X anthoria parietina.

Для г. Брянска и пгт Навля вычислялся предложенный лишайниковый индекс (L), рассчитываемый по формуле:

$$L = \frac{\pi (d_1 + d_2)^2}{4DH} N$$
 , где L — лишайниковый индекс,  $d_1$  — минимальный размер

диаметра слоевища лишайников (лишайниковой куртины (см)),  $d_2$  — максимальный размер диаметра слоевища лишайников (лишайниковой куртины (см)), D — обхват дерева (см), H — расстояние от земли выше которого нет двух талломов, расположенных друг от друга ближе, чем на  $10\ d_2$ , N — число талломов модельных видов лишайников на дереве.

Численные показатели синтетических индексов со всех ПП площадок усреднялись в пределах квадрата и наносились на лихеноиндикационные карты-схемы.

План-схему городов разбивали на сеть квадратов (1 км<sup>2</sup>), в каждом из которых проводили геоботаническое описание эпифитных лишайниковых группировок, как

наиболее чувствительных к воздействию атмосферных загрязнителей (Мартин, Трасс, 1978). Территория города Брянска была разбита на 147 квадратов: в Советском районе г. Брянска -61, в Бежицком -33, в Володарском -21, в Фокинском -32. В г. Орле -80 учетных квадратов.

Валовое содержание ТМ в слоевищах эпифитных лишайников определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан Макс» фирмы Spectron (Методика выполнения измерений ..., 2004). Водные вытяжки из слоевищ лишайников подвергали биотестированию с использованием тест-объектов: *Paramecium caudatum* и люминесцентных бактерий *Escherichia coli* М-17 (Методы пробоотбора ..., 2003; Методика определения токсичности ..., 2004). Индекс токсичности определяли как:  $T = I_{\kappa} - I_{\text{on}} / I_{\kappa}$ , где  $I_{\kappa}$ ,  $I_{\text{on}}$  — средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб соответственно. По величине индекса анализируемые пробы с участием *Paramecium caudatum* классифицировали по степени их токсичности на 4 группы, тест-системы «Эколюм» и бактерий *Escherichia coli* – на 3 группы.

Для оценки сопряженности валовой концентрации ТМ в образцах эпифитных лишайников проведен корреляционный анализ. Значения коэффициентов корреляции (R) выше 0,32 являются достоверными с вероятностью 99% (Шмидт, 1984).

Анализ результатов исследований для биомассы, концентрации тяжелых металлов осуществлен статистическими методами с использованием пакета MS Excel 2003 (Плохинский, 1978; Зайцев, 1984, 1990; Лакин, 1990). При обработке полученной информации применялись следующие статистические показатели: одномерный анализ вариационных рядов (средние величины признака и их ошибки (М±m), точности опыта (р, %), Достоверность оценивали по критерию Стьюдента (t) с учетом трёх доверительных уровней (Р=95%), рассчитывали коэффициенты корреляции, осуществляли факторный анализ (Шмидт, 1984). Карты и рисунки построены с применением пакета программ МарІпfo 11.0.

### 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ СРЕД ОБИТАНИЯ В ГОРОДАХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

### 4.1 Лихенофлора городов и посёлков городского типа Брянской и Орловской областей

Общий видовой состав эпифитной флоры лишайников семи малых городов представлен 51 видом, относящимся к 29 родам, 8 семействам, в том числе в г. Трубчевске – 36 видов, г. Севске – 35 вида, г. Жуковке – 38 видов, пгт Суземка – 42 вида, пгт Навля – 35 видов, г. Новозыбкове и г. Сельцо – по 34 вида. Ведущие семейства лихенофлоры – *Parmeliacea, Physciaceae, Teloschistaceae* и *Lecanoraceae*, на что указывали и другие авторы (Седельникова, Свирко, 2003; Сионова, 2006; Стаселько, 2007; Романова, 2008; Гайдыш, 2012). Наиболее богаты видами род *Physcia* и *Lecanora* (Сафранкова, 2013). Оценка видового сходства лишайников показана на рисунке 2.

В отдельный кластер по сходству лихенофлоры объединены гг. Новозыбков и Сельцо, т.к. в этих населённых пунктах преобладают хвойные виды в составе зеленых насаждений различного назначения. Оценка встречаемости видов лишайников показала качественные различия в параметрах лихенофлоры. 10 видов лишайников имеют встречаемость более 65 %, наиболее распространены – *Physcia tenella* (Scop.) DC., *Ph. stellaris* (Ach.) Nyl., *Parmelia sulcata, Physconia distorta* (With.) J.R.Laundon, *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale., *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Parmeliopsis ambigua* (Wulf.) Nyl., *Phaeophyscia ciliata* (Hoffm.) Moberg, *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav., *Candelariella vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg.

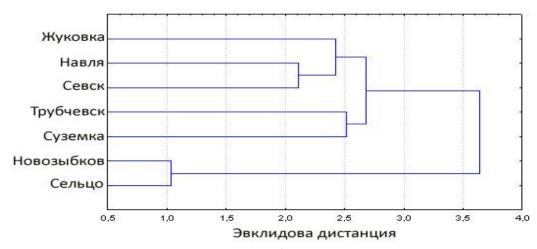


Рисунок 2 – Дендрограмма сходства лихенофлоры городов и посёлков городского типа Брянской области

В составе лихенофлоры пгт Суземка обнаружены кустистые лишайники, формирующие прикомлевые (геоплезные) синузии на форофите Betula pendula -Cladonia cenotea (Ach.) Schaer, C. coniocraea (Flörke) Spreng., C. fimbriata (L.) Fr., синузии в средней части ствола Pynus sylvestris – Usnea hirta (L.) Weber ex F.U. Wigg. Основные синузии, формирующиеся на средней части ствола форофитов (от 0,6 до 2,0 м), представлены Xanthoria parietina (проективное покрытие от 20 до 70 %), Parmelia sulcata и Parmeliopsis ambigua (проективное покрытие от 5 до 70 %), Physcia stellaris (проективное покрытие от 10 до 40 %), Physconia distorta (проективное покрытие от 15 до 35 %) и включают более трех видов лишайников. В составе лихеносинузий малых городов и посёлков включены нитрофильные виды – Xanthoria parietina, Physcia stellaris, Physconia distorta, Phaeophyscia ciliata, которые могут характеризовать степень антропогенного изменения экологических условий в сообществах, использоваться как биоиндикаторы. Лихенофлору малых городов и посёлков Брянской области в целом характеризовать как мультирегиональную, преобладанием c голарктического и панбореального типа ареала.

По данным маршрутных обследований только городских территорий для Брянска установлено 58 видов лихенофлоры, для Орла – 52 вида. Различия по числу видов эпифитных лишайников городских экосистем статистически недостоверно ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ). Эпифитная лихенофлора центральной зоны городов насчитывает от 10 до 13 видов, периферической – от 26 до 30, парковой – 43 вида. Для центральной и периферической зон гг. Брянска и Орла характерны 2-видовые лихеносинузии. Число родов лихенофлоры крупных городов – 32. Ведущие по числу видов семейства в лихенофлоре города: Parmeliaceae (16), Lecanoraceae (9), Physciaceae (10 видов), Teloschistaceae (7). На территории двух крупных городов наиболее распространены виды, которые зарегистрированы в 25-49 % всех учетных квадратов. Видовой состав лишайниковэпифитов обоих городов включает 19 индикаторных видов (1 и 2 группы встречаемости по баллам), используемых для расчетов ИП и химического мониторинга. Эпифитная лихенофлора, учитываемая в индикации среды обитания городов, имеет сходство в фоновых видах – Xanthoria parietina, Parmelia sulcata, Parmeliopsis ambigua, Physcia pulverulenta, Ph. ciliata, Ph. tenella, Ph. stellaris, Physconia distorta, Phaeophyscia ciliata, Candelariella vitellina. Наиболее часто встречаемые (фоновые) виды в местообитаниях Брянска и Орла принадлежат к экологической группе нитрофитов: Caloplaca cerina, C. holocarpa, Lecanora hagenii, Phaeophyscia orbicularis, Physcia adscendens, P. stellaris, Xanthoria parietina и др. О повышенной экологической активности этих видов и расширении спектра занятых ими местообитаний сообщают лихенологии значительного

числа городов Европы, что указывает на возрастание трофности субстратов и их защелачивании (Pakarinen, 1981; Нильсон, 1982; Нильсон, Мартин, 1982; Мartin, Coughtrey, 1982; Nash et al., 1991; Михайлова, Воробейчик, 1995; Отнюкова, Крючкова, 2001, 2003; Крючкова, 2006). Число видов-эпифитов, описанных в крупных городах Нечерноземья, превышает видовое разнообразие лихенофлоры для малых городов Брянской области (Азарченкова, 2011; Сафранкова, 2012, 2012 a, 2013, 2013 a, 2013 б, 2013 в, 2013 д; Сафранкова, Анищенко, 2012, 2012 а). Вероятно, этот факт связан с большим разнообразием местообитаний в крупных урбоэкосистемах. Для г. Брянска описано больше редких видов (встречаемость — балл 5), так как город обладает крупнейшим лесным массивом непосредственно в городской черте.

При анализе видового состава эпифитных лишайников и их встречаемости в малых и крупных урбоэкосистемах установлены группы устойчивости лишайников, включающие следующие категории. Очень чувствительные эпифитные виды – виды, встречающиеся в лесопарках на окраинах крупных и малых городов (балл встречаемости 5 - менее 5 % учетных квадратов): Graphis scripta, Tuckermannopsis chlorophylla, Usnea hirta, Pseudeveria furfuracea, Platismatia glauca, Phlyctis argena, Parmeliopsis hyperopta, Melanohalea subargentifera, Hypogymnia physodes, Evernia mesomorpha, Cladonia cenotea, С. coniocraea, С. fimbriata. Чувствительные виды – лишайники, распространенные на периферии населённых пунктов, зонах коттеджной застройки, на древесных видах в озеленении некрупных автотрасс (балл встречаемости 3 и 4 – встречаемость в 25-49 % учетных квадратов, встречаемость менее чем в 24 % учетных квадратов): например, Hypogymnia tubulosa, Scoliciosporum chlorococcum, Physcia tenella, Ramalina fraxinea и др. Устойчивые виды формируют лишайниковые синузии на деревьях в зоне промышленных предприятий, использующихся в озеленении крупных автотрасс, в центре селитебных районов (балл встречаемости 2 и 1: более чем в 50 % учетных квадратов (широко распространенные, фоновые): Xanthoria polycarpa, Parmelia sulcata, Lecanora varia, Lecanora hagenii, Phaeophyscia ciliata и др. Не выносит атмосферного загрязнения эпифит Anaptychia ciliaris – этот лишайник зарегистрирован для парковой окраинной зоны малых городов, для форофитов в гг. Брянске и Орле не обнаружен.

информативны в биоиндикационной Итак, достаточно состояния распределение территории урбоэкосистем ПО лихеноиндикаторов различной чувствительности, доминирование нитрофильных видов (особенно в крупных городах). На формирование лихенофлоры урбанизированной территории значительное влияние загрязнение, оказывает атмосферное что выявляется при исследовании металлоаккумулирующей способности и валовому содержанию тяжелых металлов в их слоевищах.

# 4.2 Синтетические лихеноиндикационные индексы как основа экологического районирования городов и биоиндикации

Абсолютные значения ИП, а также число квадратов со значениями ИП больше 7 для малых городов и посёлков городского типа представлены в таблице 1. Территория гг. Трубчевска, Жуковки, Новозыбкова и пгт Навля была разбита на 25 учетных квадратов, г. Сельцо – на 26, пгт Суземка – на 20, г. Севска – на 18.

Для всех исследуемых малых урбоэкосистем установлены высокие значения ИП, позволяющие разделить территорию на две группы зон – смешанную (ИП<7) и зону борьбы (ИП>7). На периферии малых городов абсолютные значения общего проективного покрытия эпифитных лишайниковых сообществ всегда выше по сравнению с оживленными автотрассами, административными центрами города, около работающих предприятий, железнодорожного узла и автовокзалов.

Таблица 1 – Абсолютные значения ИП для малых городов Брянской области

Населённые	Абсолютные	значения ИП	Число квадратов со
пункты	минимальное максимальное		значениями ИП больше 7 («зона борьбы»)
Трубчевск	$6,78\pm0,70$	8,0±0,20	52 %
Жуковка	6,27±0,70	7,9±0,06	36 %
Навля	5,97±0,90	7,94±0,06	52 %
Севск	6,23±0,30	7,76±0,20	62 %
Сельцо	5,14±0,14	8±0,20	23 %
Новозыбков	5,98±0,80	7,97±0,03	56 %

Наибольшее число квадратов территории, попадающих в зону борьбы, выделено для гг. Севска (62%), Новозыбкова (56%), Трубчевска (52 %). Таким образом, оценка изменения проективного покрытия лишайниковых синузий в зависимости от степени антропогенной нагрузки может быть использована в качестве индикаторной величины для выявления сильной нарушенности общего состояния атмосферы. Участков или зон с незначительным или малым общим загрязнением атмосферы, в отличие от крупного города Брянска не выделено. В целом для повышения качества диагностических мероприятий в биомониторинге необходимо использовать комплексный подход, а также апробировать дополнительные качественные и количественные методики лихеноиндикации.

Лихеноиндикационные исследования состояния атмосферы крупной городской экосистемы проведены в четырех административных районах г. Брянска: сообщества эпифитных лишайников обследовались в 1994, 2000, и 2010 и 2012 гг., охватывают восемнадцатилетний период (Анищенко, 2001). Лихеноиндикация общего состояния атмосферы по ИП показала следующее (табл. 2).

Таблица 2 – Общее число квадратов по ИП в г. Брянске

Годы	199	4 г.	2000 г.		2010 г.	
Показатели	ИП / %		ИП / %		ИП / %	
Зоны по ИП	4,4-7,0	7,1-9,8	4,4-7,0	7,1-9,8	4,4-7,0	7,1-9,8
1*	33/54	28/46	33/54	28/46	30/49	31/51
2	10/30	23/70	8/24	25/76	7/21	26/79
3	18/86	3/14	18/86	3/14	16/76	5/24
4	16/16 16/50		16/16	16/50	11/34	21/66

Примечание. \* Районы города: 1 – Советский, 2 – Бежицкий, 3 – Володарский, 4 – Фокинский

Общее состояние атмосферы г. Брянска за 18-летний период изменилось в связи с возрастанием общего количества транспортных потоков, оживлением работы промышленных предприятий. Возросло общее число участков по ИП зоны борьбы (значительное общее загрязнение), по ИАЧ (табл. 3) — зоны среднего и значительного загрязнения. Рассчитанные индексы указывают на повышенную концентрацию загрязнителей в центре города и его густонаселённых частях.

Таблица 3 – Общее число квадратов по ИАЧ в г. Брянске

							1					
	1994 г.				2000 г.			2010 г.				
	ИАЧ / %			ИАЧ / %			ИАЧ / %					
	6-10	11-15	16-20	>21	6-10	11-15	16-20	>21	6-10	11-15	16-20	>21
1*	9/15	17/28	10/16	25/41	12/20	11/18	10/6	28/6	12/20	11/18	10/16	28/46
2	13/39	9/27	4/ 12	7/22	13/39	9/27	4/ 12	7/22	13/39	9/27	4/12	7/22
3	2/10	1/5	7/33	11/58	2/10	1/5	7/33	11/58	3/14	2/10	6/29	10/47
4	6/19	8/25	9/28	9/28	6/19	8/25	9/28	9/28	9/28	8/25	7/22	8/25

Примечание. \* Районы города: 1 – Советский, 2 – Бежицкий, 3 – Володарский, 4 – Фокинский

Согласно расчетным индексам загрязнения атмосферы (ИЗА) и количества выбросов веществ от стационарных и передвижных источников в атмосферу города состояние атмосферы изменялось (рис. 3).

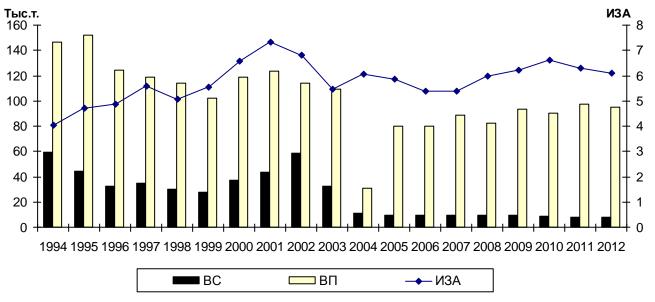


Рисунок 3 — Динамика ИЗА, количества выбросов загрязняющих веществ (тыс.т.) от стационарных и передвижных источников в г. Брянске (по данным Государственных докладов о состоянии окружающей природной среды ..., 1995-2013) (ИЗА — индекс загрязнения атмосферы, ВС — выбросы от стационарных источников, ВП — выбросы от передвижных источников)

В 1994-1996 гг. ИЗА характеризовал состояние атмосферного воздуха в норме (ИЗА = 4,04-4,87). В период с 1997 по 2000 гг. ИЗА диагностировал повышенный уровень загрязнения воздуха (ИЗА = 5,57-6,57). Наивысший показатель ИЗА (7,31) высокий уровень загрязнения – был рассчитан для 2001 г. В 2002-2012 гг. (6,83-5,37) по ИЗА состояние атмосферы характеризовалось повышенным уровнем загрязнения (рис. 3). За весь период исследования диагностировали превышение выбросов от передвижных источников загрязнения над выбросами от стационарных источников. Итак, за период с 1994 г. наблюдались изменения в состоянии атмосферы города Брянска, связанные в первую очередь с антропогенной деятельностью. Сообщества лишайников реагировали на динамику показателей В состоянии атмосферы. соответствующих синтетических Количественные расчеты лихеноиндикационных индексов подтвердили происходящие изменения в общем состоянии атмосферы крупного города.

Таким образом, в биоиндикационной оценке общего состояния атмосферы урбоэкосистем достаточно информативны показатели распределения лихенобионтов с высокими коэффициентами полеотолерантности, наличие которых в эпифитных синузиях увеличивает значения ИП. По мере увеличения антропогенной нагрузки и снижения качества общего состояния атмосферы сокращается видовое разнообразие и обилие эпифитных лишайниковых группировок. Эффекта «лишайниковой пустыни» в г. Брянске не выявлено. На основании синтетических индексов проведено зонирование территории урбоэкосистемы. По ИП установлены две группы зон: смешанная (ИП=4-7) и зона борьбы (ИП=7-10); по ИАЧ – четыре.

Картографирование территории города предоставляют надёжную информацию о дифференциации пространства по загрязнению воздуха. Наиболее информативен ИАЧ, позволивший провести более дробное деление территории по общему многолетнему состоянию атмосферы. Синтетические лихеноиндикационные индексы зафиксировали повышенную концентрацию атмосферных загрязнителей в центральных жилых районах города, около оживленных автотрасс и промышленных объектов. За восемнадцатилетний период наблюдений за общим состоянием атмосферы установлено возрастание числа участков значительного загрязнения.

Впервые для г. Брянска и пгт Навля был рассчитан лишайниковый индекс с использованием фоновых эпифитных видов-эвритопов (*Xanthoria parietina*, *X. polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber., видов рода *Physcia*). В таблице 4 показаны некоторые полученные значения лишайникового индекса для крупного города и посёлка городского типа с учетом видового состава деревьев для *Xanthoria parietina*.

Таблица 4 – Значения лишайникового индекса (L) для территории крупного и малого городов Брянской области

Показатели								
г. Брянск, лихеноиндикатор – Х	Число квадратов							
Вид дерева и показатели индекса	1 группа	2 группа	3 группа					
Вид дерева и показатели индекса	0,0052	0,014	0,190					
Betula pendula	44	82	26					
Проективное покрытие стволов (М±m, в %)	12±0,8	19±1,3	36±3,2					
Среднее число талломов на стволе	30±1,4	32,5±1,2	41±2,8					
Tilia condata	0,0057	0,021	0,220					
Tilia cordata	51	80	21					
Проективное покрытие стволов (М±m, в %)	11±0,6	23±1,4	31±2,7					
Среднее число талломов на стволе	28±1,5	33±2,1	39±2,8					
пгт Навля, лихеноиндикатор – Xanthoria parietina								
Вид дерева и показатели индекса	1 группа	2 группа	3 группа					
Potula pondula	0,0086	0,038	<u>0,310</u>					
Betula pendula	9	12	14					
Проективное покрытие стволов (М±m, в %)	15±0,9	19±1,4	37±3,3					
Среднее число талломов на стволе	28,5±2,1	34±2,3	39±3,1					
Tilia cordata	0,0093	0,031	0,340					
Tina coraata	10	12	13					
Проективное покрытие стволов (М±m, в %)	17±0,9	22±1,9	41±4,0					
Среднее число талломов на стволе	27±1,9	37±3,2	44±3,3					

По значению лишайникового индекса (L) все обследуемые квадраты городских территорий можно объединить в достоверно различающиеся ( $t_{\phi a \kappa r} > t_{raб n}$ ) три группы: зону значительного общего загрязнения сред обитания (наименьшее значения L),

среднего и слабого загрязнения (наибольшие значения L). В зону наименьшего загрязнения по значениям лишайникового индекса попали квадраты, расположенные на окраинах городов, а также в крупных городских парках и скверах. В зону наибольшего загрязнения объединены квадраты по лишайниковому индексу, вычисленному для квадратов около крупных автодорог, некоторых промышленных предприятий, около авто- и железнодорожных вокзалов.

Установлено, что значения параметра лишайникового индекса находится в прямопропорциональной зависимости от расстояния до дороги и может быть описана уравнением:  $L = (-3.09 + 0.376S)10^{-3}$ . Качественные признаки — проективное покрытие ствола дерева (форофита) лишайниками в исследуемых квадратах зоны наибольшего и среднего загрязнения различаются недостоверно ( $t_{\phi akr} < t_{raбл}$ ). Используемый лихеноиндикационный индекс позволяет уменьшить субъективность подхода к биоиндикации, применить количественные критерии.

# 4.3 Накопительная способность тяжелых металлов лишайниками урбоэкосистем как индикационный признак

В урбоэкосистеме крупного города Брянска обнаруживаются следующие особенности концентрации и накопления ТМ. В течение сезона года валовая концентрация ТМ в слоевищах эпифитов изменялась: зимой валовые концентрации ТМ выше, чем летом (рис 4).

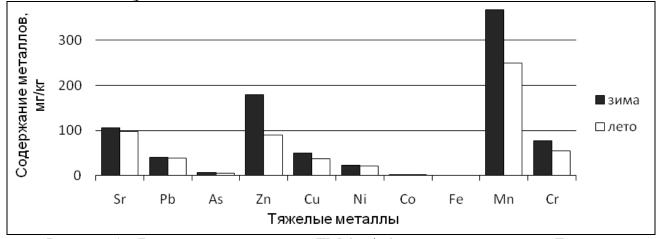


Рисунок 4 – Валовые концентрации ТМ (мг/кг) по сезонам года в г. Брянске

Валовое содержание всех ТМ в лишайниках эпифитах крупных городов превышает фоновые значения для эпифитной лихенобиоты в экосистемах заповедника «Брянский лес» (Анищенко, Азарченкова, 2012). В слоевищах эпифитных лишайников в г. Брянске валовое содержание мышьяка, кобальта, марганца больше по сравнению со значениями этих ТМ в г. Орле. Валовая концентрация стронция, свинца, цинка, никеля, железа, хрома, ванадия, титана в образцах эпифитных лишайиков г. Орле больше, чем в г. Брянске (рис 4, 5). Различия в валовом содержании ТМ статистически достоверны для свинца, мышьяка, цинка, никеля, кобальта, железа, титана  $(t_{\phi aкr} > t_{raбл})$ , недостоверны для стронция, меди, марганца, хрома  $(t_{raбл} > t_{dakr})$ .

В г. Брянске слоевища *Xanthoria parietina* по сравнению с другими видами в большей концентрации накапливают свинец (рис. 4), медь, хром. В г. Орле для слоевищ *Xanthoria parietina* зарегистрировано высокое валовое содержание стронция, свинца, марганца, титана.

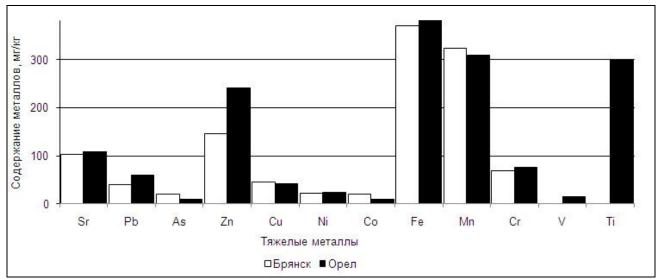


Рисунок 5 – Валовые концентрации ТМ (мг/кг) в гг. Брянске и Орле

По коэффициенту накопления установлен следующий ряд поглощения TM  $Xanthoria\ parietina$  – Pb>Ti>Cu>Cr>Fe>As>Ni>Mn>Zn>V>Sr>Co.

Анализ картографического материала валовой концентрации ТМ в слоевищах эпифитных лишайников гг. Брянска и Орла показал следующее (рис. 6). Изолинии выделяют зоны, различающиеся по концентрации ТМ в биоиндикаторах: низкого, среднего, высокого и очень высокого содержания ТМ. Наибольшие концентрации ТМ зарегистрированы в промышленных зонах и районах крупных автотрасс с большими дорожными развязками, а также в ряде селитебных районов. Также изолинии выделяют зоны движения воздушных масс от источников загрязнения.

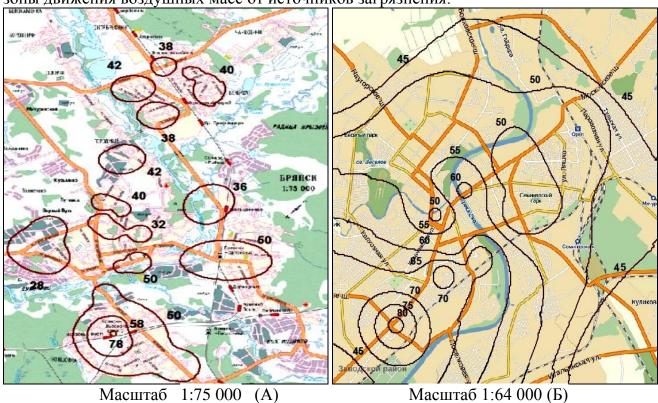


Рисунок 6 – Изолинии валовой концентрации свинца (мг/кг) в слоевищах эпифитных лишайников в г. Брянске (A), г. Орле (Б)

Валовая концентрация ТМ в малых городах и посёлках городского типа Брянской области меньше значений, полученных для аналогичных ТМ в г. Брянске и г. Орле. Наименьшее валовое содержание у кобальта, он не обнаружен ни в одной из проб лишайников, наибольшее — у железа. Для г. Жуковка наибольшие концентрации

зарегистрированы для стронция, цинка, марганца, железа, титана, в г. Дятьково – для стронция, свинца, цинка, железа, меди, в пгт Суземка – для стронция, цинка, марганца, железа, в пгт Навля – для цинка, стронция, титана, железа. Самые значительные валовые концентрации ТМ в образцах лишайников выявлены для свинца, стронция, меди, мышьяка, цинка, никеля в г. Дятьково. Самые значительные валовые концентрации ванадия и титана выявлены в г. Жуковке, железа – в пгт Суземка (рис. 7).

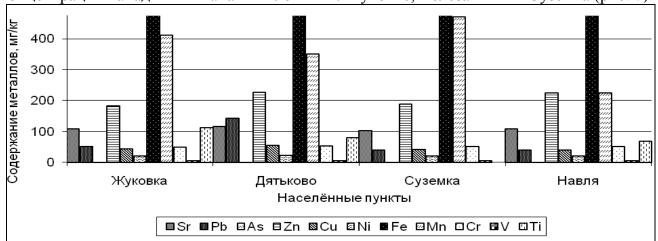


Рисунок 7 –Валовые концентрации ТМ (мг/кг) в малых городах Брянской области

Наиболее интенсивно накапливают ТМ такие эпифитные виды, как Parmelia sulcata (в г. Дятьково, пгт Суземка), Xanthoria parietina (в пгт Суземка), Evernia prunastri (в пгт Навля), Hypogymnia physodes (в г. Жуковке). Наибольшей аккумулирующей способностью в г. Дятьково по отношению к железу, стронцию, свинцу, цинку, меди, никелю, марганцу, ванадию обладает Xanthoria parietina, к мышьяку — Hypogymnia physodes и Physcia hispida, к хрому, титану — Parmelia sulcata; в г. Жуковке по отношению к железу, стронцию, свинцу, цинку, меди, никелю, марганцу, ванадию, мышьяку, хрому, титану обладает Hypogymnia physodes; в пгт Навля по отношению к железу, свинцу, цинку, меди, никелю, титану обладает Parmelia sulcata, к стронцию, ванадию, хрому — Xanthoria parietina, к марганцу, мышьяку — Evernia prunastri; в пгт Суземка по отношению к свинцу, цинку, никелю, хрому обладает Parmelia sulcata, к меди, стронцию, ванадию, титану — Xanthoria parietina, к мышьяку — Hypogymnia tubulosa, к железу, марганцу — Evernia mesomorpha.

В крупных городах Нечерноземья – Брянске и Орле – лишайники более интенсивно накапливают свинец (рис.4), медь, хром, титан, ванадий, мышьяк. Для эпифитных лишайников малых городов установлены следующие ряды накопления ТМ. Для г. Жуковка: Fe>Mn>Zn>Ti>Sr>Pb>Cr>Cu>Ni>V>As>Co, для г. Дятьково: Fe>Mn>Zn>Pb>Sr>Ti>Cu>Cr>Ni>V>As>Co, для пгт Навля: Fe>Mn>Zn>Sr>Ti>Cr>Pb>Cu>Ni>V>As>Co, для пгт Суземка: Fe>Mn>Zn>Sr>Co, для пгт Суземка: Fe>Mn>Zn>Boстока (Блум, Тютюнник, 1989).

Парные коэффициенты корреляции для ТМ в слоевищах лишайников, отобранных на территории гг. Брянска и Орла, показали, что тесной корреляции между содержанием этих поллютантов ТМ не выявлено. Значимая корреляционная зависимость наблюдается между парами: кобальт — медь, хром — цинк, железо — стронций. В общем виде все эти парные корреляционные связи можно выразить схемой:

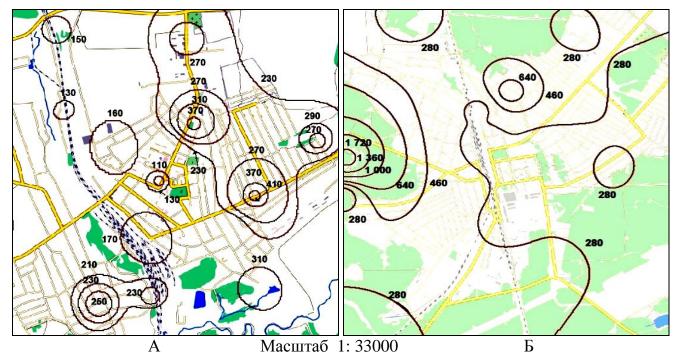


Рисунок 8 – Валовое содержание марганца в образцах лишайников (мг/кг).

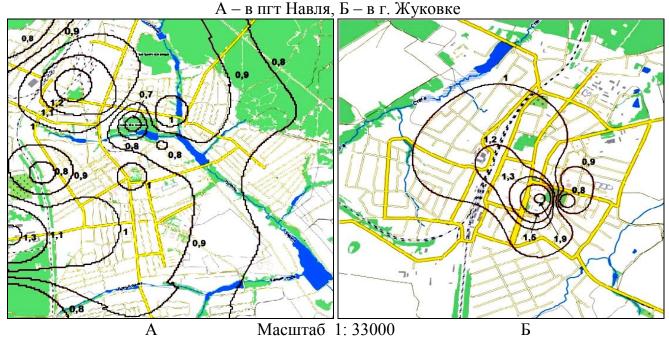


Рисунок 9 — Валовое содержание железа в образцах лишайников (г/кг). A — в г. Дятьково, B — в пгт Суземка

Валовое содержание ТМ в крупных и малых городах Нечерноземья не превышает указанных концентраций аналогичных элементов для других населённых пунктов 2002; Свирко, Страховенко, 2006). Изолинии, показывающее валовое содержание ТМ в слоевищах эпифитных лихенобионтов для малых городов и посёлков также позволяют выделить территории, различающиеся типа, загрязнению: малого и среднего. В малых урбоэкосистемах зоны со средним загрязнением среды ТМ сосредоточены в основном около авто- и железнодорожных магистралей ввиду отсутствия хорошо развитых промпредприятий (и крупных источников загрязнения). Анализ концентрации ТМ в пробах эпифитных лишайников в урбоэкосистемах выявил накопление некоторых ТМ отдельными слоевищами лишайников, что подтверждает мнение об их сильных абсорбционных свойствах (Air pollution and lichens ..., 1973; Monitoring ..., 2002 и др.).

# 4.4 Комплексный подход к определению биоиндикационных качеств лихенобиоты антропогенно преобразованных территорий

Исследования образцов лихенобиоты на токсичность и валовое содержание ТМ показали, что наиболее информативны по биоиндикационным качествам эпифитные виды, которые рекомендованы для организации мониторинга. Загрязнение местообитаний радионуклидами не оказывают на токсичность образцов лишайников заметного влияния.

Превышение валового содержания ТМ в слоевищах эпифитных лишайников коррелирует с высокими индексами токсичности: токсичностью, сильной токсичностью, высоким уровнем токсичности (во всех городских местообитаниях). Токсические регистрируемые методами биотестирования, включают эффекты, комплексное воздействие токсикантов различных форм, а также позволяют учесть и биологические особенности, которые проявляет объект тестирования (лишайник). Комплексный химико-аналитический И биотоксический анализ также позволил накопительные эффекты, проявляющиеся при воздействии загрязнителей на различные экологические группы лишайников. Наибольшая аккумуляционная способность ТМ выявлена у эпифтных видов, особенно у Xanthoria parietina, Evernia prunastri, менее значительная – у Usnea hirta в городских местообитаниях – у Xanthoria parietina и Parmeliopsis ambigua.

#### Выводы

- 1. Установлен видовой состав эпифитной флоры лишайников семи малых городов Брянской области, представленный 51 видом 29 родов. Ведущие семейства *Parmeliacea, Physciaceae, Teloschistaceae* и *Lecanoraceae*. Для крупных городов установлено 58 видов (г. Брянск) и 52 вида (г. Орёл) эпифитной лихенофлоры из 32 родов. Ведущие по числу видов семейства *Parmeliaceae* (16), *Lecanoraceae* (9), *Physciaceae* (10 видов), *Teloschistaceae* (7). Число видов-эпифитов, описанных в крупных городах Нечерноземья, превышает видовое разнообразие лихенофлоры для малых городов Брянской области.
- 2. Выявлены 19 индикаторных эпифитных видов лихенофлоры урбоэкосистем и 4 группы устойчивости лишайников по отношению к общему состоянию атмосферы: не выносящих атмосферного загрязнения, очень чувствительных, чувствительных и устойчивых видов.
- 3. Предложены информативные в биоиндикационной оценке состояния атмосферы урбоэкосистем признаки лихеноиндикаторов: распределение по территории видов различной чувствительности, лихенобионтов с высокими коэффициентами полеотолерантности, доминирование нитрофильных лишайников, число лишайников в синузиях.
- 4. Доказано, что синтетические лихеноиндикационные индексы позволяют зонировать территорию крупного города по уровню общего загрязнения атмосферы: на 4 группы зон, различающиеся по ИАЧ (сильное загрязнение (ИАЧ=6-10), среднее (ИАЧ=11-15), умеренное (ИАЧ=16-20), незначительное (ИАЧ>21)), по ИП на две группы зон (смешанная (ИП=4-7) и зона борьбы (ИП=7-10)). ИП для малых городов также выделяет две группы зон по общему состоянию атмосферы. Доказано, что для крупного и малого города по лишайниковому индексу выделяют три группы: зону значительного общего загрязнения, среднего и слабого. Установлено, что значения параметра лишайникового индекса находится в прямопропорциональной зависимости от расстояния до дороги.
- 5. Определено, что общее состояние атмосферы г. Брянска за 18-летний период изменилось в связи с возрастанием общего количества транспортных потоков,

оживлением работы промышленных предприятий: возросло общее число участков по ИП зоны борьбы (значительное общее загрязнение), по ИАЧ — зоны среднего и значительного загрязнения.

- 6. Установлено, что валовая концентрация ТМ в фоновых видах эпифитных лишайников зависит от сезона года (в зимний период выше), от вида лишайников; значимая корреляционная зависимость выявлена между парами накопленных ТМ в лихенобиоте крупных городов: кобальт медь, хром цинк, железо стронций.
- 7. Выявлены для эпифитных лишайников малых городов ряды накопления ТМ по валовой концентрации ТМ: в г. Жуковке – Fe>Mn>Zn>Ti>Sr>Pb>Cr>Cu>Ni>V>As>Co, Дятьково – Fe>Mn>Zn>Pb>Sr>Ti>Cu>Cr>Ni>V>As>Co, в пгт Навля Fe>Mn>Zn>Sr>Ti>Cr>Pb>Cu>Ni>V>As>Co, в пгт Суземка – Fe>Mn>Zn>Sr>Cr>Cu>Pb> Ni>V>As>Ti>Co; для крупных городов: в г. Брянске – Fe>Mn>Zn>Sr>Cr>Cu>Pb>Ni>As >Co, в г. Орле – Fe>Ti>Mn>Zn>Sr>Cr>Pb>Cu>Ni>V>As>Co. Ряд аккумуляции ТМ по коэффициенту накопления: в пгт Навля – V>Cu>Cr>As>Ni>Pb>Fe>Zn>Mn>Sr>Co>Ti, пгт Суземка - Cr>Cu>Pb>Zn>Ni>Fe>V>Mn>Sr>As>Co>Ti, в г. Предложен Ni>Sr>Cr>Pb>Cu>Mn>Fe>Zn>As>V>Co>Ti. экологический ряд лишайников-эпифитов по накопительной способности: Evernia mesomorpha > Parmeliopsis ambigua > Hypogymnia tubulosa > Xanthoria parietina > Parmelia sulcata > Evernia prunastri.
- 8. Обоснована система лихеномониторинга общего состояния атмосферы урбоэкосистем, включающая: применение ИАЧ и лишайникового индекса для зонирования территорий по степени общего загрязнения и продолжения налаженного биомониторинга, применения сочетанных химико-аналитических и биотоксикологических исследований слоевищ фоновых эпифитных лишайников при индикации аэротехногенного загрязнения среды, диагностика видовых показателей эпифитных лихеносинузий.

### Практические рекомендации

- 1. Для зонирования территории урбоэкосистем целесообразно использовать синтетические лихеноиндикационные индексы, позволяющие провести более дробное деление территории по общему многолетнему состоянию атмосферы: ИАЧ и лишайниковый индекс, который диагностирует различия в общем состоянии атмосферы даже в малых городах. Предложены региональные индивидуальные коэффициенты полеотолерантности (a<sub>i</sub>) для 32 видов лишайников при расчете ИП.
- 2. В индикации среды обитания городов Нечерноземья рекомендованы фоновые виды Xanthoria parietina, Parmelia sulcata, Parmeliopsis ambigua, Physcia pulverulenta, Ph. ciliata, Ph. tenella, Ph. stellaris, Physconia distorta, Phaeophyscia ciliata, Candelariella vitellina, в том числе и нитрофиты, характеризующие степень антропогенного изменения экологических условий в сообществах: Caloplaca cerina, C. holocarpa, Lecanora hagenii, Phaeophyscia orbicularis, Physcia adscendens, P. stellaris, Xanthoria parietina и др.
- 3. Целесообразно определять валовые содержания ТМ и устанавливать биотоксичность в смешанных образцах эпифитной лихенофлоры, но также использовать отдельные фоновые виды-концентраторы: Parmelia sulcata (пармелия бороздчатая), Xanthoria parietina (ксантория постенная), Evernia prunastri (эверния сливовая), Hypogymnia physodes (гипогимния вздутая). При диагностике общего состояния атмосферы городов учитывать сочетание валовых значений ТМ в образцах лишайников: железа и меди, кобальта и меди, хрома и цинка, железа и стронция.

### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, включенных в Перечень... ВАК РФ

- 1. Анищенко Л.Н. Фоновый мониторинг сред обитания методом лихеноиндикации (на примере ООТП Неруссо–Деснянского полесья) / Л.Н. Анищенко, **Е.А. Азарченкова (Сафранкова)** // Вестник БГУ. Серия Точные и естественные науки. №4 (2012). Брянск: РИО БГУ, 2012. С. 27-32.
- 2. **Сафранкова Е.А.** Оценка общего состояния атмосферы городской экосистемы методом лихеноиндикации (на примере малых городов Брянской области) / **Е.А. Сафранкова** // Вестник Оренбургского государственного университета. № 1 (150). январь 2013. Оренбург, 2013. С. 140-143.
- 3. Анищенко Л.Н. Лихенофлора малых городов и поселков городского типа Брянской области: биоразнообразие и использование в биоиндикации / Л.Н. Анищенко, **Е.А. Сафранкова** // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 6. Оренбург, 2013. С. 28-32.
- 4. **Сафранкова Е.А.** Лихенофлора крупных городов Нечерноземья: разнообразие и использование в биоиндикации / **Е.А. Сафранкова**, Л.Н. Анищенко // Современные проблемы науки и образования. − 2014. − № 1; URL: www.science-education.ru / 115-11895.

### Статьи в других научных изданиях

- 5. **Азарченкова (Сафранкова) Е.А.** Видовая аккумулятивная способность видов лихенобиоты / Е.А. Азарченкова (Сафранкова) // Антропогенная трансформация природных экосистем: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Балашов, 13-14 октября 2010 г.) / под ред. А.И. Золотухина. Балашов: Николаев, 2010. С. 8-12.
- 6. **Азарченкова (Сафранкова) Е.А.** Фоновый мониторинг ООТП методом лихеноиндикации (Заповедник «Брянский лес», Неруссо-Деснянское Полесье) // Е.А. Азарченкова (Сафранкова) // Российский молодёжный форум «Экология России и молодёжная политика»: материалы и доклады / Зелёный крест; сост. А.В. Фёдоров. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2010. С. 101-103.
- 7. **Азарченкова (Сафранкова) Е.А.** Лихенобиота в фоновом мониторинге ООПТ (на примере ФГУ заповедника «Брянский лес», Неруссо–Деснянское Полесье) / Е.А. Азарченкова (Сафранкова), Л.Н. Анищенко // Матер. Интернет–конференции «Роль и место научных исследований в государственных природных заповедниках на современном этапе» 1 окт.—30 ноября 2010 г. Хоперский заповедник. Электронный вариант.
- 8. Анищенко Л.Н. Фоновый мониторинг на основе химического анализа лихенобиоты (на примере ФГУ заповедника «Брянский лес», Неруссо–Деснянское Полесье) / Л.Н. Анищенко, **Е.А. Азарченкова (Сафранкова)** // Экологическая безопасность региона. Сб. статей III Междунар. научно–практич. конф. Брянск, 21-22 октября 2010 г. Брянск, 2010. С. 26-32.
- 9. **Азарченкова (Сафранкова) Е.А.** Лихенофлора урбоэкосистемы г. Брянска в биомониторинге показателей экологической безопасности / Е.А. Азарченкова (Сафранкова) // Сборник статей IV Международной научно—практической конференции естественно—географического факультета. Брянск: РИО БГУ, 2011. С. 13-21.
- 10. **Сафранкова Е.А.** Диагностика качества природной среды на основе данных лихеноиндикации / Е.А. Сафранкова, Л.Н. Анищенко // Дополнительное проф. образование в системе подготовки конкурентоспособного специалиста на рынке труда: Сб. науч. Тр. I Всерос. науч.-практ. конф. Брянск. Издательство ГК «Десяточка», 2011. С. 250-252.

- 11. **Сафранкова Е.А.** Лихенофлора городов Брянской области: биоразнообразие и использование в биоиндикации (на примере гг. Севска и Новозыбкова) / Е.А. Сафранкова // Сб. статей V Междунар. научно—практич. конф. естественно—географического факультета. Брянск: РИО БГУ, 2012. С. 283-288.
- 12. Сафранкова Е.А. Метод лихеноиндикации в оценке общего состояния атмосферы малых городов (на примере городов Трубчевска и Севска Брянской области) / Е.А. Сафранкова // Сб. матер. Всерос. научно-практич. конф.: Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон. Балашов, 2012 а. С. 145-148.
- 13. **Сафранкова Е.А.** Лихенобиота урбоэкосистем Брянской области: биоразнообразие и фитоиндикационные аспекты использования / Е.А. Сафранкова, Л.Н. Анищенко // Сб. матер. Всероссийской научно–практической конф.: Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон. Балашов, 2012. С. 148-152.
- 14. Анищенко Л.Н. Экологические проблемы промышленных городов / Л.Н. Анищенко, **Е.А. Сафранкова** // Экологические проблемы промышленных городов: Сборник научных трудов по материалам 6-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Саратовский государственный технический университет, 10-12 апреля 2013 г. С. 147-150.
- 15. **Сафранкова Е.А.** Оценка общего состояния атмосферы малых городов (на примере Брянской области) / Е.А. Сафранкова, Л.Н. Анищенко // Сборник статей Междунар. заочной научно–практич. конф. «Естественные науки: вопросы биологии, химии, физики». Новосибирск, 2012 а. С. 47-51.
- 16. **Сафранкова Е.А.** Количественная лихеноиндикация (на примере малых городов Брянской области) / Е.А. Сафранкова // Биология наука XXI века: 17–я Международная Пущинская школа конференция молодых ученых. Пущино, 2013. С. 555-556.
- 17. **Сафранкова Е.А.** Оценка состояния атмосферы урбоэкосистем методом лихеноиндикации (на примере г. Брянска и г. Орла) / Е.А. Сафранкова // Матер. X Междунар. науч.-практ. интернет конф. «Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах СНГ». Переяслав–Хмельницкий, 2013. С. 54-56.
- 18. **Сафранкова Е.А.** Лихеноиндикация в мониторинге состояния атмосферы: возможные применения и результаты (на примере малых городов Брянской области) / Е.А. Сафранкова // Матер. докладов II Всероссийской (XVII) Молодежной научной конференции (с элементами научной школы) «Молодежь и наука на севере». Сыктывкар, 2013 а. С. 123-124.
- 19. **Сафранкова Е.А.** Экоаналитический лихеноиндикационный мониторинг в условиях малых городов (Брянская область) / Е.А. Сафранкова // Матер. XII Междунар. науч.—практ. интернет конференции «Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах СНГ». Переяслав—Хмельницкий, 2013 б. С. 29-31.
- 20. **Сафранкова Е.А.** Ресурсы биоразнообразия лишайников и их использование в биомониторинге / Е.А. Сафранкова // Матер. Третьей Междунар.науч.—практ. конф. «Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов» (Брянск, 24–26 октября 2013 г.). Брянск: Изд-во «Курсив», 2013 в. С. 60-64.
- 21. **Сафранкова Е.А.** Эпифитные лишайники как индикаторы загрязнения атмосферы малых городов тяжелыми металлами / Е.А. Сафранкова // Естественные и медицинские науки: актуальные проблемы и перспективы развития. Сб. матер. II Междунар. науч.—практ. конф. (г. Киев, Украина, 14 ноября 2013 г.). –Киев: Центр Научно Практических студий, 2013 г. С. 94-97.

- 22. Сафранкова Е.А. Эффективность различных методик лихеноиндикации в диагностике общего состояния атмосферы урбоэкосистем / Е.А. Сафранкова, Л.Н. Анищенко // Экологическая безопасность региона: Сб. статей VI Междунар. науч.—практ. конф. естественно-географического факультета (Брянск). —Брянск: Изд-во «РИО БГУ», 2013. С. 141-146.
- 23. Анищенко Л.Н. Лишайниковый индекс количественный способ лихеноиндикации общего состояния атмосферы урбоэкосистем / Л.Н. Анищенко, **Е.А.** Сафранкова // Экологическая безопасность региона: Сб. статей VI Междунар. науч.— практ. конф. естественно-географического факультета (Брянск). Брянск: Изд-во «РИО БГУ», 2013. С. 24-27.

#### Тезисы

24. **Сафранкова Е.А.** Лихеноиндикация в мониторинге состояния атмосферы урбоэкосистем / Е.А. Сафранкова // Ломоносов 2013: Тезисы докладов XX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: секция «Биология». – Москва, 2013. – С. 288-289.

### Главы в рецензируемой монографии

25. Анищенко Л.Н. Популяционные и геоботанические показатели лишайникового покрова на фоновых территориях / Л.Н. Анищенко, **Е.А. Азарченкова** (Сафранкова) // Итоги биологического контроля качества окружающей среды в системе регионального экомониторинга. Под. ред. Л.Н. Анищенко. Брянск: Изд-во «Курсив», 2011. – С. 63-73.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук Подписано в печать . . . 2014 г. Формат 60х84 1/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. − 1,0. Тираж − 100 экз. Заказ № . РИО Брянского государственного университета имени академика И. Г. Петровского 241036, Брянск, Бежицкая, 14 Отпечатано в цехе РИО БГУ