



УДК 504.7:504.7.05

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ФИТОБИОТУ

**В. К. Тохтарь,**

*директор ботанического сада Белгородского государственного университета (БелГУ), с. н. с., tokhtar@bsu.edu.ru*

**М. Ю. Третьяков,**

*доцент БелГУ, apolon15@rambler.ru*

**В. И. Чернявских,**

*зам. директора ботанического сада БелГУ, cherniavskih@mail.ru*

**О. В. Фомина,**

*научный сотрудник ботанического сада БелГУ, fominolya@mail.ru*

**Н. В. Мазур,**

*аспирант ботанического сада БелГУ, nasokoreva@yandex.ru*

**С. А. Groshenko,**

*аспирант ботанического сада БелГУ, groshenkosa@yandex.ru*

**Ю. Е. Волобуева,**

*научный сотрудник ботанического сада БелГУ, ljiya@mail.ru*

**В. И. Петина**

*доцент БелГУ, городского государственного университета, petina@bsu.edu.ru*

Проанализированы некоторые подходы и методы изучения и оценки антропогенной трансформации фитобиоты. Установлено, что наиболее перспективными являются методы многомерной статистики, которые позволяют провести визуализацию различных характеристик фитобиоты и среды и выявить факторы, влияющие на изменения флор и фитоценозов. Применение этих методов становится еще более эффективным в сочетании с методами био- и фитоиндикации с использованием коэффициентов гемеробии

Some approaches and methods of study and assessment of anthropogenous transformation of flora have been analyzed. It has been established that the most perspective methods for the goals are the multidimensional statistics methods, which allow to visualize different characteristics of phytobiota and environment as well as the factors impacting to changes of floras and phytocoenosis. Using of the methods would be more effectively combining them with methods of bio- and phytoindication.

**Ключевые слова:** антропогенная трансформация, методы оценки, фитобиота, среда.

**Keywords:** anthropogenous transformation of floras, methods for assessment, phytobiota, environment.

**Введение.** Задачу сохранения природной среды обитания нельзя решить без сохранения растительного покрова и его всестороннего изучения. Создание глобальной сети техногенных экотопов во всем мире кардинально влияет на ход естественного биотогенеза, что приводит к существенной антропогенной трансформации фитобиоты большинства регионов. Вследствие этого возникла необходимость исследования проблем формирования и развития не только флор регионально, но и топологического уровня, изменения которых под влиянием антропогенных факторов могут идти в разных, даже противоположных направлениях. До настоящего времени нет четкой и общепринятой типологии антропогенно трансформированных флор, не определена их специфика, взаимосвязь, роль в генезисе региональных флор и структурно-функциональная организация [1—3].

Различные типы антропогенно трансформированных флор существуют и одновременно отражают разные фазы преобразования флор: от флор природно-заповедного фонда до флор техногенных экотопов. Эволюционные изменения расти-

тельного покрова происходят уже на первых стадиях развития, при этом наиболее характерные черты флоры утрачиваются, разрушается экотопологическая структура, которая характеризует связь любого флорокомплекса с естественной флорой и его способность к самовосстановлению. Такая флора становится искусственной, а произошедшие в ней антропогенные изменения — необратимыми.

Целью исследования было проанализировать наиболее перспективные подходы к оценке степени и интенсивности антропогенной трансформации флоры.

**Материалы и методы.** Флора рассматривается нами как совокупность местных популяций растений конкретной географической территории [4]. Оценка вызванных антропогенным воздействием изменений должна осуществляться на нескольких взаимосвязанных иерархических уровнях: уровне флор, растительных сообществ и структур популяций. Этим должен быть обусловлен выбор методов и методик исследования.

Оценка существующих методик биоиндикации проводилась по охранным документам за период с 1979 по 2009 гг. Анализ документов осуществлялся по направлению: биоиндикационные методики. Источники информации: сайты Федерального института промышленной собственности <http://fips.ru> и электронные базы данных Роспатента RUPAT, RUABRU <http://www1.fips.ru>, электронные базы данных ЕПВ <http://ep.espace.net>, научно-техническая литература и другие источники.

**Результаты и их обсуждение.** В результате проведенных исследований установлено, что в настоящее время существует достаточно большое количество биоиндикационных методик, но постоянно продолжается поиск и разработка эффективных методов биоиндикации среды и ее компонентов, а также биоиндикация воздействия различных групп токсикантов и групп организмов-биондикаторов.

Проведенный нами поиск позволил выделить несколько основных направлений, перспективных для оценки и биоиндикации степени антропогенной

трансформации среды. Первое направление связано с использованием в качестве индикатора отдельного вида, способного накапливать вредные агенты. Так, например, данное направление реализуется в способе оценки содержания тяжелых металлов в атмосферном воздухе с помощью листостебельного мха *Leskea polycarpa* Hedw (Заявка: 2006121859/13, 19.06.2006). Второе направление предлагает рассматривать изменения, происходящие в живой материи под воздействием антропогенных факторов. Примерами такого подхода являются следующие разработки: способ биоиндикации радиоактивного загрязнения местности и степени его воздействия на *Betula pendula* L. или *B. alba* L. При этом изучаются окрашенные микросрезы, в которых подсчитывается число аномалий микроструктуры стебля на срез и по расчетной кривой, по числу обнаруженных аномалий, снимаются показатели радиационной характеристики, что свидетельствует о степени загрязнения территории (Заявка: 94042506/25, 30.11.1994). Способ оценки экологического состояния территории с определением кислотности сока хвои (Заявка: 2008120419/12, 22.05.2008). Еще одним интересным способом биоиндикации среды является метод, в котором в качестве вида индикатора выступает клоп-солдатик, а в качестве показателя чистоты среды изменения меланизированного рисунка переднеспинки (Заявка: 2005124084/13, 28.07.2005). Безусловно, что при усилении антропогенного воздействия возможно ускорение микроэволюционных перестроек популяций животных, однако оценить эти изменения достаточно сложно, поскольку возникает вопрос о том, чем обусловлены морфологические изменения: антропогенным воздействием или же естественными процессами, происходящими внутри популяций. Мониторинг, основанный на оценке групповых проявлений фенотипической изменчивости, позволяет обнаруживать дестабилизацию развития, скрытый морфогенетический резерв в виде инадаптивных морфозов и выявлять границы адаптивной нормы развития, что может оказаться важным при эко-

логическом нормировании. Поэтому одним из наиболее надежных и перспективных методов исследования является метод флюктуирующей асимметрии, хотя он ограничен в использовании, поскольку разрабатывался лишь для отдельных древесных видов растений.

Достаточно перспективными являются методы, связанные с биоиндикацией деградации растительных сообществ настоящих степей (Заявка: 2008108253/12, 03.03.2008) и фитоиндикацией пастбищной деградации средневозрастных степных залежей (Заявка: 2008108264/12, 03.03.2008). Оба эти способа предлагают использование не одного вида-индикатора, а оценивают реакции различных видов в сообществе, что представляется более надежным способом, чем использование отдельных видов растений.

Несмотря на то, что индикаторные оценки видов, полученные по шкалам, и результаты ординации иногда имеют достаточно высокую корреляцию, характеристики видов, установленные ранее по отношению к отдельно взятому градиенту среды, изменяются при их взаимодействии [3]. До сих пор до конца не известны главные экологические детерминанты развития популяций различных видов и растительных группировок, в особенности, если это касается антропогенных факторов, которые не имеют природных аналогов.

Проанализированные методики не всегда позволяют точно определить степень влияния антропогенных факторов на экосистемы. В свою очередь анализ структур флорокомплексов и фитоценозов с их многообразными связями может быть прекрасной основой для создания точной и эффективной методики для оценки антропогенного воздействия.

Оценка степени антропогенной трансформации флор, проведенная методами многомерной статистики, позволяет не только визуализировать структуры флор в факторном пространстве [5], но и определить точные статистические расстояния между ними по отношению к тому или иному фактору. Это во многих случаях позволяет определить «скрытые» закономерности и факторы формирования флор [6]. Другим перспек-

тивным методом в оценке флор является анализ соответствий (Correspondence Analysis), который дает возможность получить визуальную количественную оценку структуры таблиц сопряженности признаков большой размерности на основе вычисления расстояний  $\chi$ -квadrat между категориальными данными для анализа типологических структур флор в процессе их развития. С его помощью в факторном пространстве может быть проведена визуальная оценка сходства частот встречаемости жизненных форм видов в структурах флор, находящихся на разных этапах их формирования.

Таким образом, к наиболее перспективным методам оценки влияния антропогенных факторов на фитобиоту относятся современные методы многомерной статистики. Их эффективность может быть усилена в сочетании с биоиндикационными методами, методами, позволяющими выявить экологические ниши видов по отношению к конкретным факторам с использованием коэффициентов гемеробии видов [3]. В этом отношении многообещающими являются методы и подходы, используемые при анализе данных в среде пакета программ CANOCO for Windows [7]. Изучение особенностей пространственной дифференциации видов в зависимости от экологических свойств почвогрунтов и выявление их экологических ниш можно проводить с использованием метода анализа канонических соответствий (Canonical Correspondence Analysis), недавно разработанного группой ученых в Голландии под руководством Тер Браака [3] и довольно успешно применяемого в последнее время. Очевидно, что поиск закономерностей распределения видов вдоль градиентов среды необходимо искать, применяя методы, учитывающие большие объемы наборов данных, многофакторность процессов формирования флор и унимодальность функции взаимодействия видов и окружающей среды. Этот метод является непрямым методом анализа данных, связывающих между собой виды, местообитания и факторы окружающей среды. Положение вида в пространстве (центроид вида) на диаграмме разброса

обычно является количественной оценкой его оптимума между осями изучаемых характеристик окружающей среды. Ординационные оси этих характеристик выражают линейные комбинации абиотических компонентов.

Поскольку полученные результаты исследований антропогенно-трансформированных флор необходимо трактовать на фоне действующих антропогенных факторов, возникает вопрос о наиболее достоверных методах оценки степени их интенсивности. По результатам наших исследований к одному из наиболее надежных методов оценки степени антропогенного воздействия является использование индексов гемеробии, хотя существующие модификации этого метода иногда несколько отличаются по конечным результатам и также требуют усовершенствования.

**Выводы.** Таким образом, для раскрытия внутренних взаимосвязей между компонентами фитосистем и оценки степени антропогенной трансформации среды крайне необходимо введение новейших статистических исследовательских приемов в сравнительную флористику [7, 8]. Это дает огромные возможности для понимания сути явлений, а не только констатирования фактов существования последствий антропогенной трансформации. В этом отношении

очень перспективным представляется использование методов создания экологических классификационных (дискриминантных) и прогностических моделей флор, основанных на статистическом анализе [3].

Объединение эмпирического и статистического подходов к созданию типологии антропогенно трансформированных флор дает возможность построить обобщенную модель развития флоры в антропогенно трансформированной среде [3]. Использование таких подходов становится все более привлекательным для исследователя, поскольку они позволяют получить новые возможности для анализа огромных объемов данных, которые в силу своей крайней мозаичности очень сложно оценить визуально. Современные методы статистики позволяют визуализировать все корреляционные взаимоотношения, которые формируются между флорами и их элементами, и осуществить достоверный прогноз их развития с помощью мощных пакетов компьютерных программ.

*Исследования проводились в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК № 16.740.11.0053 от 01.09.2010.*

### Библиографический список

1. Бурда Р. И. Антропогенная трансформация флоры. — Киев: Наук. думка, 1991. — 169 с.
2. Бурда Р. И. Биологическое разнообразие фитобиоты в антропогенно преобразованных ландшафтах (проблема и опыт изучения) // Ботаника и микология на пути в третье тысячелетие. — Киев: Изд-во Института ботаники им. Н. Г. Холодного, 1996. — С. 119—126.
3. Тохтарь В. К. Перспективы использования новых методов многомерной статистики для создания моделей мозаичных антропогенно трансформированных флор // 12-й съезд Русского ботанического о-ва (Петрозаводск, 22—26 октября, 2008 г.). — Петрозаводск, 2008. — С. 183—186.
4. Юрцев Б. А. Флора как базовое понятие флористики: содержание, понятия, подходы к изучению // Матер. П раб. совещ. по сравнит. флористике. Неринга, 1983. — Л.: Наука, 1987. — С. 13—28.
5. Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях. — Свердловск: Изд-во Ур. ун-та, 1991. — 220 с.
6. Тохтарь В. К. Использование методов многомерной статистики для определения степени антропогенной трансформации и создания моделей флор техногенных экотопов // Бюллетень Московского о-ва испытателей природы. Приложение. — 2009. — С. 412—414.
7. Тохтарь В. К., Фомина О. В., Петин А. Н., Шевера М. В., Губарь Л. М. Сравнение урбанофлор различных природно-климатических зон методом факторного анализа // Проблемы региональной экологии — № 1. — 2009. — С. 27—30.
8. Тохтарь В. К., Хархота А. И., Ростаньски А., Виттиг Р. Сравнение локальных флор техногенных территорий Европы // Промышленная ботаника. — 2003. — Вып. 3. — С. 7—13.