

В.К. Тохтарь**ИССЛЕДОВАНИЕ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ФЛОР
С ПОМОЩЬЮ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА**

антропогенная трансформация, флора, классификация, прогноз

Введение

Исследование закономерностей формирования синантропных флор в последнее время становится одной из наиболее актуальных задач современной ботаники. Это объясняется не только громадными территориями, которые они занимают, но и глобальностью и необратимостью процессов, происходящих здесь: распространение инвазионных видов [5, 7, 8, 10, 11], разрушение парциальных структур флор [1], необходимостью классификации и прогноза развития фитобиоты в этих условиях [4, 6].

Выявление закономерностей формирования фитобиоты при усилении степени ее антропогенной трансформации, по-видимому, происходит по аналогичному сценарию, поскольку процессы сложения флор детерминируются совокупностью исторически сложившихся, филогенетически обусловленных аут- и синэкологических особенностей видов. Виды и сообщества обладают специфическими свойствами: адаптивным потенциалом, пластичностью, устойчивостью к тем или иным факторам, которые приобретены ими в процессе эволюции. Первоначально, попадая в новые условия, виды растений лишь раскрывают свой адаптивный потенциал, уже сложившийся в результате длительного филогенетического развития, и одновременно интенсифицируются процессы микроэволюции и видообразования. Кажущаяся однородность структур антропогенно трансформированных флор, их мозаичность и сходство аспектов растительных сообществ приводят к возникновению существенных трудностей в их классификации традиционными методами сравнительной флористики. Поэтому в последнее время все чаще для этих целей используют методы статистического анализа, которые, во многих случаях, позволяют провести числовую оценку сходства и различия между флорами и визуализировать их взаимоотношения в многомерном пространстве.

Цели и задачи исследований

Целью работы было определение возможностей классификации антропогенно трансформированных флор. Задачи – изучение структур этих флор с помощью дискриминантного анализа.

Объекты и методика исследований

Объектами исследований были антропогенно трансформированные флоры, формирующиеся в степной зоне смежных областей России (Белгородская обл.) и Украины (Донецкая и Луганская обл.).

Характеристики таксономической и типологической структур флор, которые использовали в статистическом анализе, исследовали с помощью компьютерных пакетов программ, в среде которых была создана база данных по изученным антропогенно трансформированным флорам. Для анализа экологической структуры флоры – использовали линейную систему жизненных форм В.Н. Голубева [2]. При исследовании сходства и различия между структурами флор использовали дискриминантный анализ, позволяющий определить статистические дистанции Махаланобиса между ними. Данные обрабатывали с помощью современных пакетов компьютерных программ Microsoft Excel XP и Statistica 6.0.

Результаты исследований и их обсуждение

Перед проведением классификации флор с помощью дискриминантного анализа *a priori* мы можем попытаться проанализировать основные, детерминирующие их развитие факторы.

Флоры, формирующиеся в различных техногенных экотопах, находятся в сильной зависимости от комплекса локальных экологических и антропогенных факторов среды. Основными из них являются: 1) *доступность воды в экотопах*. Мы можем *a priori* расположить некоторые контрастные, крайние по этому параметру экотопы вдоль этого градиента таким образом: недействующие затопленные карьеры, искусственные водохранилища металлургических заводов и шахтные отстойники --- железные дороги, отвалы и действующие золоотвалы. Остальные экотопы, очевидно, занимают промежуточное положение между ними; 2) *богатство почв*: от бедных почвенных условий золоотвалов --- до территорий комбинатов хлебопродуктов, в пределах которых присутствует большое количество органических остатков; 3) *кислотность почв*: от щелочной реакции содовых комбинатов, меловых карьеров, флюсово-доломитных и шлаковых отвалов --- до нейтральной -- золоотвалов --- и недавно отсыпанных терриконников с повышенной кислотностью; 4) *засоление*: от субстратов, на которых засоление является слабым, например, территории песчаных карьеров, --- до крайних по этой характеристике засоленных территорий солевых шахт, засоленных территорий закрытых угольных шахт; 5) *тяжелые металлы*: от бедных по содержанию тяжелых металлов территорий известковых, песчаных карьеров, территорий комбинатов хлебопродуктов --- до крайне насыщенных этими веществами территорий металлургических заводов, карьеров по добыче руды, горнообогатительных комбинатов, терриконников угольных шахт и отвалов ртутной промышленности, 6) *токсичность субстрата*: практически отсутствует на территориях комбинатов хлебопродуктов, территориях ряда карьеров, отвалов и промышленных площадок. Вредные химические вещества сконцентрированы, в основном, в пределах предприятий химической и металлургической отрасли: на химических заводах, коксохимических комбинатах, металлургических заводах. Несомненно, что определенные особенности в формировании растительного покрова территорий конкретных предприятий вносит характер завозимого сюда сырья для производственной деятельности.

Тем не менее, расположить и классифицировать флоры на основании вышеизложенных рассуждений в большинстве случаев невозможно. Оценить специфичное воздействие факторов можно лишь благодаря комплексному анализу их результирующего действия на формирование структуры флоры, хотя в условиях техногенеза даже один фактор очень часто может быть определяющим. В большинстве случаев наиболее существенным современным фактором развития флор техногенных экотопов является токсичность эдафотопы.

При классифицировании изученных антропогенно трансформированных флор методами многомерной статистики были выведены межгрупповые зависимости структур различных флор техногенных объектов на основе количественных соотношений различных групп, характеризующих их систематические и типологические спектры. Эти соотношения достаточно точно характеризуют специфичность классифицированных ранее флор техногенных экотопов по степени их антропогенной трансформации, сукцессионной динамичности, толерантности к антропогенному воздействию и др. Они достаточно консервативны и поэтому будут соблюдаться и при формировании флор в местах строительства новых техногенных объектов в степной зоне, что и позволяет нам не только отнести к конкретным классам изучаемую флору, но и предвидеть характер изменений в ее структуре, зная особенности формирования структур флор техногенных экотопов.

Поскольку классификация всех изученных флор была осуществлена с помощью дискриминантного анализа, формализация отношений между структурами флор достигается с помощью определения дистанций между ними (табл.).

Из таблицы видно, что статистические дистанции между группами флор, относящихся к одному классу варьируют в пределах близких величин, что определяется, по-видимому, сходством степени антропогенной трансформации среды и структур флор. Изучение спектров таксономических и типологических структур синантропных флор не позволяет оценить принадлежность флор к однородным группам, поскольку происходит существенное «зашумление» индикаторных групп видов. Даже процентные отличия между этими флорами не дают оснований для достоверного разграничения и классификации разнородных флор.

Таблица. Сходство-различие структур флор техногенных экотопов в степной зоне сопряженных областей России и Украины на основе дистанций Махаланобиса от центроидов групп

№ пп	Наблюдаемая классификация флор	Дистанции Махаланобиса от центроидов групп										коксохимические заводы
		отвалы	карьеры	золоотвалы	ГРЭС	пром-площадки	металлургические заводы	КХП				
1	Отвалов	19,67	63,83	75,86	47,84	49,75	73,16	153,73			41,60	
*2	Отвалов	20,61	46,36	53,33	48,90	33,49	48,42	96,30			18,78	
3	Карьеров	51,54	6,73	127,96	14,54	42,73	19,92	117,64			35,65	
4	Золоотвалов	59,28	88,20	17,41	90,00	50,97	83,46	139,48			28,09	
5	ГРЭС	45,16	24,31	99,44	10,08	16,99	16,49	131,59			17,61	
6	Золоотвалов	102,31	157,95	18,91	157,38	130,70	155,97	203,40			71,93	
7	ГРЭС	87,50	25,32	168,83	9,27	56,21	26,68	127,58			45,70	
8	ГРЭС	75,99	38,97	171,31	12,97	56,20	36,78	150,69			51,87	
9	Золоотвалов	78,61	129,20	14,53	113,36	90,59	127,13	123,00			38,26	
10	Промышленных площадок	44,66	40,69	85,96	30,19	16,68	27,96	141,94			17,87	
11	Золоотвалов	78,81	115,67	19,18	125,73	111,91	138,44	146,39			58,65	
12	Золоотвалов	61,43	102,88	14,94	103,89	78,73	111,73	143,63			38,83	
13	Золоотвалов	90,89	130,46	19,98	132,31	112,73	128,57	149,22			55,24	
14	Промышленных площадок	29,56	33,36	84,23	26,31	14,65	25,77	121,08			16,06	
15	Промышленных площадок	43,52	42,95	107,95	27,68	16,52	25,81	152,67			26,31	
16	Металлургических заводов	43,08	27,90	112,65	23,12	18,94	8,97	107,59			22,90	
*17	Промышленных площадок	40,00	45,48	58,27	34,50	16,35	29,14	87,23			9,23	
18	Отвалов	20,55	68,72	98,63	57,65	55,25	67,14	129,05			44,99	
19	Комбинатов хлебопродуктов	144,58	112,74	170,09	120,15	173,30	146,61	8,25			92,28	

№ пп	Наблюдаемая классификация флор	Дистанции Махаланобиса от центроидов групп									
		отвалы	карьеры	золоотвалы	ГРЭС	пром-площадки	металлургические заводы	КХП	коксохимические заводы		
20	Комбинатов хлебопродуктов	162,69	130,90	170,11	149,81	192,48	165,98	8,81	104,69		
21	Комбинатов хлебопродуктов	176,27	132,59	209,68	136,90	181,49	145,48	12,27	103,22		
22	Коксохимических заводов	37,29	43,76	52,26	29,80	8,22	25,50	118,95	4,39		
23	Коксохимических заводов	28,64	42,07	37,25	35,71	21,90	32,77	94,80	5,78		
24	Отвалов	19,65	67,79	86,04	69,39	65,51	73,38	129,64	47,34		
25	Промышленных площадок	60,26	71,67	109,06	41,70	23,17	41,20	172,40	31,39		
26	Промышленных площадок	43,91	53,58	94,11	43,43	16,77	37,88	143,54	30,94		
27	Промышленных площадок	58,38	54,18	78,32	40,48	15,56	39,71	169,57	20,96		
28	Карьеров	99,46	12,20	191,56	46,17	90,99	41,41	145,69	75,54		
29	Металлургических заводов	119,40	33,56	176,21	30,17	67,89	17,64	174,75	58,66		
30	Металлургических заводов	62,78	24,20	110,12	22,73	19,65	11,46	129,97	21,65		
31	Металлургических заводов	45,67	18,75	132,89	15,44	29,47	6,71	131,30	29,87		
32	Коксохимических заводов	52,18	49,69	61,60	34,71	29,18	39,97	74,48	7,20		
33	Карьеров	63,84	9,87	116,72	24,36	46,62	25,58	112,36	35,76		
34	Отвалов	21,45	78,34	79,42	73,48	56,12	74,70	164,99	47,20		
35	Промышленных площадок	52,18	50,49	101,61	35,23	15,23	31,65	148,09	24,20		
36	Отвалов	20,09	58,72	95,10	69,54	60,13	71,59	138,90	51,93		

Примечания: * – неудовлетворительная классификация структуры флоры с помощью дискриминантного анализа отмечена; КХП – территории комбинатов хлебопродуктов, ГРЭС – территории электростанций.

При этом дискриминантный анализ, изначально направленный на выявление сходных и различных объектов классификации, позволяет не только определить степень связанности флор и выявить путем подбора индикаторных групп наиболее важные для четкой классификации характеристики флор, но и определить точные статистические дистанции между ними. Взаиморасположение структур флор между дискриминантными каноническими осями задается специальными уравнениями, которые описывают их в зависимости от соотношений в них различных индикаторных групп видов. Статистические данные подчиняются конкретным математическим уравнениям, полученным в ходе анализа. Уже само существование таких описательных для различных классов антропогенно трансформированных флор уравнений дает возможность с оптимизмом смотреть на возможность прогнозирования изменений структур флор, происходящих в ответ на действие конкретных техногенных факторов. С другой стороны, это дает возможность при выборочном анализе структур индикаторных групп растений в конкретных условиях среды провести цифровую экспресс-оценку степени ее антропогенной трансформации. Такая оценка важна не только для мониторинга условий окружающей среды, но и для проведения экспертной оценки ее состояния.

Полученные результаты позволяют не только сделать определенные выводы о степени взаимосвязанности между структурами флор, но и, до определенной степени, прогнозировать характер будущих изменений в структуре флоры в ответ на возникновение специфического антропогенного воздействия. Осуществление вероятностного прогноза развития флор в зависимости от степени и характера действия антропогенного фактора является очень важной задачей исследования [9], позволяющего предвидеть негативные последствия создания новых техногенных объектов и определить возможность оптимизации их состояния в будущем [3].

Прогнозирование флористической ситуации может быть осуществлено на основании долговременного анализа данных мониторинга флор, полученных опытным путем с помощью методов математического анализа. К сожалению, эта область знаний в биологии еще не является разработанной настолько, чтобы можно было говорить о возможности детального и всеобъемлющего прогноза развития сложных биосистем.

Заключение

Таким образом, исследование структур антропогенно трансформированных флор с помощью дискриминантного анализа путем определения статистических дистанций Махаланобиса позволяет провести достаточно точную классификацию этих визуально однородных и, одновременно, крайне мозаичных флор. Использование данного метода дает возможность не только определить степень сходства и различия флор, пределы изменчивости статистических значений, характерных для них, но и проводить экспресс-оценку степени антропогенной трансформации фитобиоты в конкретных условиях среды. Получение таких результатов создает предпосылки для разработки трендовых направлений развития флор в зависимости от степени и интенсивности действия антропогенных факторов. Использование статистических методов анализа флор позволяет вплотную подходить к прогнозированию формирования флор. Практическое значение статистических подходов с целью классификации антропогенно трансформированных флор заключается в возможности создания прогноза их развития в случае предполагаемого строительства конкретного техногенного объекта. Такой прогноз может быть достаточно точным в случае, если он будет построен на основе данных, касающихся таких же, но уже изученных ранее флор, их временной динамики, локальной флористической ситуации, оценке факторов окружающей среды и экологических амплитуд видов. С использованием такого мониторингового подхода вполне возможно предсказание если не появления конкретных видов, то, по крайней мере, их потенциальную возможность произрастать здесь. Выявление же структуры флор техногенных экотопов в различных антропогенных условиях возможно с высокой степенью достоверности при использовании методов многомерной статистики.

Наиболее перспективным можно считать методы регрессионного анализа, однако их использование все же трудоемко и требует значительного времени для изучения комплекса данных и выявления зависимостей. Большие перспективы сулят недавно разработанные методы прогноза изменения статистических данных во времени (например, пакеты программ ARIMA и др.), которые входят в мощные современные компьютерные программы в среде Statistica, Systat, Matlab, SPSS, MathCAD и др. [9]. Кроме того, прогноз развития флор может быть осуществлен и с помощью достаточно обычных в настоящее время методов факторного анализа, доступных во многих компьютерных программах. В таком случае на первый план выходит умение исследователя формализовать биологические данные, необходимые для построения статистического прогноза, поскольку специальные прогнозные программы развития флор или растительного покрова в настоящее время еще не разработаны. Однако, в любом случае такое исследование становится возможным только в результате долговременного мониторингового изучения массива данных о ходе формирования флор в различные временные периоды их развития.

Детальная разработка подходов и методов прогнозирования высокой достоверности и разрешающей способности впереди, хотя эта задача, на основе имеющихся в настоящее время результатов, не представляется невыполнимой и в скором времени, вероятно, может быть решена. Основные закономерности формирования растительного покрова могут быть раскрыты с помощью мощных современных методов статистического анализа совокупности экологических и флористических градиентов, сопутствующих сложению флор и растительных группировок на основе долгосрочного мониторинга антропогенной динамики флор и факторов, детерминирующих их развитие.

Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания Министерства образования и науки РФ Белгородским государственным национальным исследовательским университетом на 2012 год (№ приказа 5.2614.2011)

1. Бурда Р.И. Антропогенная трансформация флоры. – Киев: Наук. думка, 1991. – 169 с.
2. Голубев В.Н. Принцип построения и содержание линейной системы жизненных форм покрытосеменных растений // Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд-ние биол. – 1972. – Т. 77, вып. 6. – С. 72–80.
3. Мартынова Н.А. Некоторые подходы к направленному подбору видов при создании устойчивых культурфитоценозов в антропогенно нарушенных экотопах / Н.А. Мартынова, В.К. Тохтарь // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. – 2011. – № 9 (104). – 2011. – Т. 15/1. – С. 308–312.
4. Прогнозирование экологических процессов / [Л.Я. Ащепкова, А.Е. Кузьмина, Л.М. Мамонтова и др.] – Новосибирск: Наука, 1986. – 216 с.
5. Тохтарь В.К. Ценхрус длинноколочковый – еще один американский «гость» Центрального Черноземья / В.К. Тохтарь, О.В. Фомина // Защита и карантин растений. – 2010. – № 12. – С. 27–28.
6. Тохтарь В.К. Прогнозирование формирования флор техногенных экотопов в степной зоне // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. – 15 (86). – 2010. – Вып. 12. – С. 13–19.
7. Тохтарь В.К. Микроэволюция и инвазивность видов рода *Oenothera* L. в Европе / В.К. Тохтарь, Ю. К. Виноградова, С.А. Грошенко // Российский Журнал Биологических Инвазий. – 2011. – № 2. – С. 194–206. <http://www.sevin.ru/invasjour>
8. Catford J. Quantifying invasion level: towards the objective classification of invaded and invulnerable ecosystems / J. Catford, P. Vesik, D. M. Richardson, P. Pyšek // Global Change Biology. – 2012. – 18. – P. 44–62.
9. Huntley B. Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces / B. Huntley, P. Berry, W. Cramer, A.P. McDonald // J. Biogeogr. – 1995. – Vol. 22, № 6. – P. 967–1001.
10. Pyšek P. Global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment / P. Pyšek, V. Jarošík, P.E. Hulme, J. Pergl, M. Hejda, U. Schaffner & M. A. Vila // Global Change Biology. – 2012. – 18. – P. 1725–1737.
11. Tokhtar V. K. Microevolution and Invasiveness of *Oenothera* L. Species (Subsect. *Oenothera*, Onagraceae) in Europe / V. K. Tokhtar, Yu. K. Vinogradova, A. S. Groshenko // Russian Journal of Biological Invasions. – 2011. – Vol. 2, № 4. – P. 273–280.

УДК 581.93

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ФЛОР
С ПОМОЩЬЮ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА

В.К. Тохтарь

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Установлено, что изучение структур антропогенно трансформированных флор с помощью дискриминантного анализа путем определения статистических дистанций Махаланобиса позволяет провести достаточно точную классификацию этих визуально однородных и, одновременно, крайне мозаичных флор. Использование данного метода дает возможность не только определить степень сходства и различия флор, пределы изменчивости статистических значений, характерных для них, но и проводить экспресс-оценку степени антропогенной трансформации фитобиоты в конкретных условиях среды. Получение таких результатов создает предпосылки для разработки трендовых направлений развития флор в зависимости от степени и интенсивности действия антропогенных факторов.

UDC 581.93

ANTROPOGENOUS TRANSFORMED FLORAE STUDY BY MEANS OF DISCRIMINANT ANALYSIS

V.K. Tokhtar

Belgorod State National Research University

It is established that structures of antropogenous transformed florae by means of discriminant analysis with definition of the Makhalanobis' statistical distances allows to carry out rather exact classification of these visually homogeneous and, at the same time, extremely mosaic florae. Use of this method gives the chance not only to define degree of similarity and distinction of florae, limits of statistical values variability and their characteristics, but also to make an express assessment of anthropogenous transformation of phytobiota under the specific environmental conditions. Receiving such results creates preconditions for development of the trend directions of florae development which depends on the degree and intensity of anthropogenous factors effect.