



УДК 581.92

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФЛОР ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПОВ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

В.К. Тохтарь*Белгородский
государственный
университет**Россия, 308015,
г. Белгород, ул. Победы, 85**E-mail: tokhtar@bsu.edu.ru*

В результате исследования флор техногенных экотопов, формирующихся в степной зоне, установлено, что закономерности развития растительного покрова могут быть раскрыты с помощью мощных современных методов статистического анализа, совокупности экологических и флористических градиентов. Использование современных методов многомерной статистики позволяет не только определить статистические дистанции между различными флорами, но и в перспективе осуществлять прогноз их формирования.

Ключевые слова: флора, антропогенное воздействие, методы многомерной статистики, прогноз.

Введение

Учитывая специфику условий техногенных экотопов в степной зоне, к одним из наиболее важных климатических факторов, которые могут быть лимитирующими, относится количество выпадаемых осадков, а из экологических – степень доступности воды для растений. Некоторые отличия, наблюдаемые при формировании структур флор техногенных экотопов в различных природно-климатических условиях, объясняются, в первую очередь, условиями увлажнения. Это подтверждается анализом спектров жизненных форм флор техногенных экотопов Европы по водному режиму.

В то же время флоры, формирующиеся в различных техногенных экотопах, находятся в сильной зависимости от комплекса локальных экологических, в первую очередь антропогенных, факторов среды. Основными из них являются: 1) *доступность воды в экотопах*. А ргiогi мы можем расположить некоторые контрастные, крайние по этому параметру экотопы по градиенту 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 комбинатов хлебопродуктов, на которых присутствует большое количество органических остатков; 3) *кислотность почв*: от щелочной реакции содовых комбинатов, флюсово-доломитных и шлаковых отвалов – до нейтральных золоотвалов и недавно отсыпанных терриконов с повышенной кислотностью почвогрунтов; 4) *засоление*: от субстратов, на которых засоление является слабым, например территории песчаных карьеров до крайних по этой характеристике засоленных территорий солевых шахт и 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, терриконников угольных шахт и отвалов ртутной промышленности. По результатам наших исследований можно сделать вывод о том, что количество тяжелых металлов в почвогрунтах техногенных экотопов не является детерминирующим развитие флор отдельного класса, поскольку образование растительного покрова здесь может происходить за счет устойчивых популяций и экотипов пластичных видов, успешно произрастающих и в других экотопах; 6) *токсичность субстрата*: практически отсутствует в пределах слабонарушенных экотопов, например, на комбинатах хлебопродуктов, территориях ряда карьеров, нетоксичных отвалов и промышленных площадок. Вредные химические вещества сконцентрированы, в основном, в пределах предприятий химической отрасли: на химических заводах, коксохимических комбинатах, металлургических заводах. Несомненно, что определенные особенности в формирование растительного покрова конкретных предпри-



ятий вносит характер завозимого на их территорию 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 мониторингу и 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.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования были флоры техногенных экотопов, формирующихся в степной зоне сопредельных административных областей России (Белгородская) и Украины (Луганская). Структуры флор анализировались с помощью дискриминантного анализа в среде пакета программ Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Создание системы мониторинга должно предполагать осуществление оценки состояния экосистем с помощью биоиндикационных и камеральных лабораторных методов, а также на основе нормирования факторов окружающей среды (Ковеленова, 1999; Красногорская, 2000; Сагателян, Аревшатян, 2001; Булгаков, 2002). Достаточно точное представление о степени антропогенной трансформированности флоры дает использование методов многомерной статистики, особенно при анализе структур флор.

Осуществление вероятностного прогноза развития флор в зависимости от степени и характера действия антропогенного фактора является очень важной задачей исследования, позволяющей предвидеть негативные последствия создания новых техногенных объектов. 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. Однако на основании долгосрочного мониторинга, изучения динамики флортехногенных экотопов возможны не только определение общих тенденций их формирования, но и прогнозная оценка будущих изменений.

Прогнозирование формирования флор в конкретных экологических условиях техногенных экотопов базируется на необходимости точного знания основных характеристик и размеров экологических ниш видов, их толерантности к различным условиям, границ пессимумов и оптимумов. Поэтому данное научное направление находится на стыке таких наук, как биоиндикация и фитогеография. Оно имеет немало точек соприкосновения с изучением формирования и развития флор и сукцессионных процессов, происходящих в условиях экологически своеобразных субстратов.

Развитие сукцессионных флор конкретных техногенных экотопов можно прогнозировать с высокой долей вероятности. Особенно это касается флор заброшенных карьеров, которые с течением времени заполняются просачивающейся грунтовой водой, и здесь формируются гидрофильные флоры зонально-рудерального типа, вне зависимости от вида добываемого сырья. Флористическая ситуация, возникающая при закрытии шахт, также легко прогнозируема, поскольку в результате выхода шахтных вод на поверхность происходит засоление близлежащих территорий и общая галофитизация растительного покрова. На основе детального изучения этого процесса можно достаточно точно прогнозировать появление тех или иных, наиболее обильных и обычно не столь многочисленных в таких антропогенных условиях видов.

Флоры рекультивированных техногенных экотопов очень разнообразны, поскольку они формируются в зависимости от типа экотопа, способа рекультивации и используемых для этого видов. Тем не менее, общая динамика формирования таких флор происхо-



дит в направлении зональных, хотя и с высокой долей присутствия в них интродуцентов и адвентивных видов. Хотя в некоторых случаях, как, например, на рекультивированных шламовых отвалах Славянского содового завода, с течением времени большинство высеянных культурных видов растений исчезли, поскольку были вытеснены местными видами. Поэтому ассортимент интродуцируемых для рекультивации видов должен быть подобран очень тщательно и в зависимости от целей проводимой работы. Прогнозирование развития флористической ситуации в рекультивированных экотопах возможно с большей долей вероятности из-за направленного воздействия человека на процессы флорогенеза, изначально запланированности результатов такого воздействия и наличия опыта рекультивации в подобных условиях.

Флоры действующих предприятий формируются в направлении образования достаточно стабильных антропофильных группировок растений и, в целом, антропо-толерантных флор, которые со временем стабилизируются и приближаются к состоянию, наиболее отвечающему экологическим градиентам среды. Особенно это касается наименее изменчивых во времени флор-детерминантов, в частности, флор коксохимических и металлургических предприятий.

Прогноз развития флоры, формирующейся в результате предполагаемого строительства конкретного техногенного объекта, 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, оценки 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 потенциальной возможности 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. (Huntley et al., 1995). 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 длительного мониторингового изучения массива данных о ходе формирования флор в различные временные периоды их развития.

При классифицировании 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 трансформированности, сукцессионной динамичности, толерантности к антропогенному воздействию и др. Они достаточно консервативны, поэтому будут соблюдаться и при формировании флор в местах строительства новых техногенных объектов на юго-востоке Украины, что 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 типология всех изученных флор была осуществлена с помощью дискриминантного анализа, формализация отношения между структурами флор достигается с помощью определения дистанций между ними (табл.).



Таблица
Сходство-различие структур флор техногенных экотопов, формирующихся в степной зоне на основе дистанций Махаланобиса от центров групп

Наблюдаемая классификация флор		Дистанции Махаланобиса от центров групп									
		отвалы	карьеры	золоотвалы	ГРЭС	промплещ.	металлург.	КХП	коксхим.		
1	2	p=.16667	p=.08333	p=.16667	p=.08333	p=.22222	p=.11111	p=.08333	p=.08333	p=.08333	p=.08333
		3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Отвалов	19.6653	63.8348	75.8578	47.8438	49.7456	73.1631	153.7336	41.6006		
*2	Отвалов	20.6109	46.3552	53.3346	48.8994	33.4878	48.4180	96.2987	18.7849		
3	Карьеров	51.5351	6.7303	127.9646	14.5383	42.7326	19.9203	117.6427	35.6547		
4	Золоотвалов	59.2831	88.2038	17.4148	89.9987	50.9739	83.4634	139.4817	28.0853		
5	ГРЭС	45.1617	24.3079	99.4422	10.0786	16.9934	16.4880	131.5854	17.6064		
6	Золоотвалов	102.3127	157.9485	18.9076	157.3768	130.6990	155.9692	203.3970	71.9332		
7	ГРЭС	87.4980	25.3190	168.8344	9.2740	56.2058	26.6786	127.5817	45.6959		
8	ГРЭС	75.9890	38.9679	171.3094	12.9688	56.2005	36.7834	150.6895	51.8681		
9	Золоотвалов	78.6109	129.1982	14.5278	113.3592	90.5863	127.1301	122.9968	38.2620		
10	Промышленных площадок	44.6646	40.6882	85.9636	30.1947	16.6816	27.9637	141.9435	17.8671		
11	Золоотвалов	78.8078	115.6704	19.1838	125.7308	111.9054	138.4405	146.3905	58.6494		
12	Золоотвалов	61.4262	102.8790	14.9411	103.8874	78.7323	111.7339	143.6269	38.8296		
13	Золоотвалов	90.8876	130.4603	19.9816	132.3076	112.7266	128.5703	149.2241	55.2361		
14	Промышленных площадок	29.5562	33.3613	84.2284	26.3080	14.6464	25.7714	121.0792	16.0634		
15	Промышленных площадок	43.5169	42.9524	107.9538	27.6751	16.5178	25.8105	132.6699	26.3097		
16	Металлургических заводов	43.0805	27.9000	112.6491	23.1191	18.9373	8.9700	107.5913	22.8972		
*17	Промышленных площадок	39.9998	45.4803	58.2683	34.5022	16.3538	29.1390	87.2290	9.2315		
18	Отвалов	20.5480	68.7165	98.6301	57.6495	55.2464	67.1371	129.0517	44.9923		
19	Комбинаты хлебопродуктов	144.5797	112.7361	170.0858	120.1531	173.2978	146.6090	8.2464	92.2849		
20	Комбинаты хлебопродуктов	162.6856	130.8955	170.1109	149.8120	192.4837	165.9801	8.8096	104.6859		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	Комбинаты хлебопродуктов	176.2665	132.5936	209.6791	136.8950	181.4922	145.4825	12.2688	103.2188
22	Коксохимических заводов	37.2918	43.7574	52.2564	29.7960	8.223	25.5018	118.9471	4.3898
23	Коксохимических заводов	28.6366	42.0721	37.2478	35.7149	21.8959	32.7669	94.8020	5.7773
24	Отвалов	19.6453	67.7862	86.0374	69.3854	65.5053	73.3813	129.6365	47.3371
25	Промышленных площадок	60.2648	71.6710	109.0632	41.7039	23.1694	41.1984	172.4002	31.3935
26	Промышленных площадок	43.9096	53.5781	94.1075	43.4275	16.7704	37.8826	143.5412	30.9445
27	Промышленных площадок	58.3760	54.1830	78.3161	40.4774	15.5617	39.7106	169.5736	20.9592
28	Карьеров	99.4625	12.1998	191.5638	46.1730	90.9864	41.4081	145.6942	75.5410
29	Металлургических заводов	119.3950	33.5594	176.2145	30.1737	67.8887	17.6445	174.7500	58.6642
30	Металлургических заводов	62.7818	24.2046	110.1155	22.7337	19.6475	11.4568	129.9707	21.6522
31	Металлургических заводов	45.6735	18.7524	132.8905	15.4430	29.4693	6.7136	131.2969	29.8683
32	Коксохимических заводов	52.1808	49.6898	61.5993	34.7059	29.1786	39.9690	74.4834	7.2006
33	Карьеров	63.8434	9.8706	116.7192	24.3630	46.6198	25.5849	112.3643	35.7566
34	Отвалов	21.4545	78.3410	79.4199	73.4815	56.1178	74.7029	164.9928	47.2034
35	Промышленных площадок	52.1813	50.4879	101.6087	35.2298	15.2254	31.6502	148.0864	24.1971
36	Отвалов	20.0882	58.7201	95.1041	69.5453	60.1343	71.5876	138.8977	51.9307

Примечание: * – неудовлетворительная классификация структуры флоры с помощью дискриминантного анализа; промплощ. – промышленные площадки; металлург. – металлургические заводы; КХП – комбинаты хлебопродуктов; коксохим. – коксохимические заводы.





Из данных, представленных в таблице, можно сделать выводы не только о степени взаимосвязанности между структурами флор, но и, до определенной степени, прогнозировать характер будущих изменений в структуре флоры в ответ на возникновение специфичного антропогенного воздействия. Оценка структур флор и их взаиморасположение между дискриминантными каноническими осями задается специальными уравнениями, которые описывают их в зависимости от соотношений в них различных групп видов. Уже само существование таких уравнений дает возможность с оптимизмом смотреть на возможность прогнозирования изменений структур флор, происходящих в ответ на действие техногенных факторов.

Заключение

Детальная разработка учеными подходов и методов прогнозирования формирования растительного покрова в ответ на антропогенное воздействие высокой достоверности 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 проводились в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК № 16.740.11.0053 от 01.09.2010

Список литературы

1. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов // Успехи совр. биологии. – 2002. – Т. 122, № 2. – С. 115-135.
2. Ковеленова Л.М. О некоторых проблемах использования высших растений в качестве фитоиндикаторов техногенного загрязнения городской среды // Вопр. экол. и охраны природы в лесостеп. и степ. зонах. – Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 1999. – С. 137-144.
3. Красногорская Н.Н. Методы контроля загрязнения окружающей среды на модели растительных объектов // Вестн. УГАТУ. – 2000. – № 2. – С. 85-90.
4. Сагателян А.К., Аревшатян С.Г. Использование растений в изучении техногенных биогеохимических провинций // 11 Междунар. симпозиум по биоиндикаторам. – Сыктывкар: Б. и., 2001. – С. 164.
5. Huntley B., Berry P., Cramer W., McDonald A.P. Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces // J. Biogeogr. – 1995. – Vol. 22. – № 6. – P. 967-1001.

PROGNOSTICATION OF FLORA FORMATION OF TECHNOGENIC ECOTOPES IN STEPPE ZONE

V.K. Tokhtar'

*Belgorod State University
Pobedy St., 85, Belgorod,
308015, Russia*

E-mail: tokhtar@bsu.edu.ru

As a result of the investigation of floras of technogenic ecotopes forming in steppe zone, it is established that regularities of plant cover development can be detected by means of modern powerful methods of statistic analysis of the totality of ecological and floristic gradients. The use of modern multidimensional statistical methods allow not only to determine statistical distances between different flora structures but also in prospect to produce a forecast of their formation.

Key words: flora, anthropogenic pressure, methods of multidimensional statistics, prognosis