

УДК 631.46:582.28

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ УРБАНОЗЕМОВ Г. ВОРОНЕЖА

© 2003 г. И. Д. Свистова, Н. Н. Талалайко, А. П. Щербаков

*Воронежский государственный педуниверситет
Воронежский государственный университет*

Проведена трехлетняя микробиоиндикация техногенно измененных почв г. Воронежа. Установлено нарушение эколого-трофической и видовой структуры микробного сообщества урбаноземов: снижение биоразнообразия микроорганизмов, нарушение баланса азота в почвах, накопление токсигенных, аллергенных, патогенных виды грибов. Эти изменения указывают на снижение экологической устойчивости и нарушение экологических функций почв в урбанэкосистемах.

ВВЕДЕНИЕ

Урбанэкосистемы – это особые по своим свойствам и малоизученные биологические системы, которые занимают 1,5% площади земного шара. Предполагается, что к 2005 г. более 50% мирового населения будет жить в городах [1]. В России в городах и населенных пунктах на территории 0,65% площади проживает около 3/4 населения (более 100 млн. человек) [2].

Город представляет собой модель крайне неустойчивой и уязвимой системы, утратившей способность к самовосстановлению, т.е. неспособной противостоять негативным экологическим факторам. Глобальные изменения природной среды (аридизация, парниковый эффект, загрязнение, кислотные дожди, деградация почв и растительности) наблюдаются, прежде всего, на урбанизированных территориях. Степень экологического риска возрастает для всех компонентов урбанэкосистем: воздуха, растительности, почвы, воды [3].

По сравнению с зональными почвами урбаноземы характеризуются нарушением генетических горизонтов, уплотнением, более щелочной реакцией среды, значительным снижением буферности и гумусированности, обогащены элементами питания [4]. Урбаноземы загрязнены строительным мусором, выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, а также токсичными ксенобиотиками. Растительный покров городов обеднен, что приводит к снижению поступления растительных остатков в почву.

Инфраструктура г. Воронежа с населением около 1 млн. человек, многочисленные промышленные предприятия, загруженные автомагистрали создают мощный прессинг на почву. Почвы представлены техногенно измененными зональными почвенными типами с различным уровнем загрязнения, а также

урбаноземами с отсутствием генетических горизонтов. Загрязнение почвенного покрова коррелирует с загрязнением атмосферного воздуха и служит индикатором зон аккумуляции токсикантов [3, 5]. Суммарный показатель загрязнения урбаноземов по 7 тяжелым металлам (ТМ) и нефтепродуктам в 1997-2000 гг. составил 2,7-3,2, при этом превышение ПДК по Cr, Zn, Cu, Ni наиболее значительно в зоне влияния предприятий тяжелой промышленности правобережной части города (от 1,8 до 7,5 ПДК), по Pb и Cd (до 10 ПДК) и бенз(а)пирену (от 4 до 12 ПДК) – вблизи крупных автомагистралей и перекрестков [2, 5]. В левобережной части города, кроме того, почвы сильно загрязнены нефтепродуктами и выбросами предприятий химической промышленности (дивинил, гексан, бутадиев, стирол и др.). Легкий гранулометрический состав урбаноземов левобережья определяет нисходящую миграцию ксенобиотиков в толще почвы [5].

Известно, что сильный антропогенный прессинг (загрязнение ТМ, нефтепродуктами, пестицидами, внесение высоких доз минеральных удобрений) активно воздействует на микробное сообщество (МСО) почвы [6, 7]. Различная устойчивость компонентов МСО почвы к антропогенному воздействию приводит к выпадению наиболее чувствительных звеньев, нарушению естественного равновесия между отдельными группами микрофлоры. В свою очередь, это меняет интенсивность отдельных стадий процессов круговорота биогенных элементов, что ведет к деградации почв, минерализации гумуса, нарушению экологических функций почвы [8]. Обнаружено снижение биоразнообразия почвенных микроорганизмов в стрессовых условиях (“концентрация доминирования”), что снижает устойчивость экосистемы [6, 7].

Исследования МСО урбаноземов проводились в единичных работах на примере малого города (г. Пущино) и мегаполиса (г. Москва) на дерново-подзолистых почвах [9, 10]. Обнаружено изменение состава МСО и накопление в урбаноземах токсигенных, аллергенных и патогенных микроорганизмов, в частности, почвенных микромицетов, что должно привлечь внимание санитарных и медицинских микробиологов [9, 10].

Целью работы было исследование нарушения МСО почвы в разных зонах крупного промышленного центра ЦЧЗ г. Воронежа и выявление информативных параметров для микробиомониторинга урбаноземов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы почвы отбирали из слоя 0-20 см в 37 точках по разным категориям земель г. Воронежа. Контролем для правобережной части города служили пробы, отобранные в пос. ВНИИ СС (г. Рамонь), на опытной станции ВГАУ, около санатория им. Горького. Рекреационные зоны – парк “Культуры и отдыха”, ботсад ВГУ, дендрарий ВГАУ. Селитебные зоны (жилой застройки) представлены тремя точками отбора в “спальном” Северном микрорайоне, в частном секторе Коминтерновского района и пос. Придонской. В промышленной зоне пробы отбирали вблизи ТЭЦ-2, ГП “Механический завод”, ООЗТ “Финист”. В транспортной зоне – вблизи оживленных автомагистралей и перекрестков: пл. Ленина, Московский просп. (пл. Застава, пам. Славы), ул. 20 лет Октября, Ст. Разина, 9 Января, Транспортная и др.

Контролем для левобережной части города служили пробы, отобранные за окружной дорогой. Рекреация – парк “Алые паруса”, селитебная зона – вблизи водохранилища (3 точки). Промышленная зона представлена пробами, отобранными около АООТ “Воронежшина”, АООТ “Воронежсинтезкаучук”, ТЭЦ-1, АО “ВАСО”. В транспортной зоне пробы отбирали по Ленинскому просп., ул. Волгоградская, Димитрова, Лебедева, Остужева и др.

Пробы почвы отбирали в динамике по сезону в течение 3-х лет. Определяли численность эколого-трофических групп почвенной микрофлоры общепринятыми методами [11] и выражали в КОЕ (колониеобразующие единицы)/г абсолютно-сухой почвы. Рассчитывали показатели структуры МСО [12]: коэффициент иммобилизации азота $K_{\text{имм.}} = [\text{иммобилизаторы}] / [\text{аммонификаторы}]$, коэффициент олиготрофности $K_{\text{олиг.}} = [\text{олигонитрофилы}] / [\text{аммонификаторы}]$, соотношение мицелиальных микроорганизмов [грибы]/[актиномицеты]. Определяли видовой состав микромицетов и структуру комплекса почвенных грибов по показателям пространственной и временной частоты

встречаемости [6]. Видовую идентификацию изолятов контролировали на кафедре низших растений МГУ.

Фитотоксические свойства почвы определяли методом биотеста (тест-растение редис). Использовали нативную почву (метод почвенных пластин [11]), а для повышения роли почвенных микромицетов инициировали развитие амилотического МСО путем напыления на поверхность почвы растворимого крахмала (метод ИМС [7, 11]).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микромозаичное строение почвы, очаговое распределение загрязнения и нарушения структуры почвы приводят к значительному разбросу численности микроорганизмов, в связи с чем не рекомендуется использовать обычные статистические способы обработки результатов [4]. Считается, что пределы варьирования численности микроорганизмов возрастают по мере роста антропогенной нагрузки [7]. Действительно, разброс минимальное–максимальное значение численности микроорганизмов в городских почвах возрастает по сравнению с контролем (пригородные почвы), причем в зависимости от категории городских земель в следующей последовательности: рекреации < селитебные зоны < < транспортные зоны < промышленные зоны.

Численность микроорганизмов определялась интенсивностью антропогенной нагрузки, для различных эколого-трофических групп наблюдали разную, часто противоположную динамику. Наибольшие различия выявлены летом, представлены данные по отбору в июле месяце.

Численность аммонификаторов в городских почвах закономерно возрастала по сравнению с контролем (табл. 1): в правобережной части города в 1,5-8,5 раза в рекреациях, в 4-18 раз в селитебных зонах, в 8-12 раз в транспортных и в 5,5-24,5 раза в промышленных зонах. Для почв левобережной части Воронежа как абсолютная численность, так и степень роста были существенно ниже: в 1,5-2,5 раза в рекреациях, в 2,5-7 раз в селитебных, в 2,5-4,5 раза в транспортных и в 2-6,5 раза в промышленных зонах. Вероятно, такие различия определяются низким содержанием гумуса и легким гранулометрическим составом почв левобережья [5]. В целом, разброс min–max для почв правобережной части города составлял 2,7-41,7 млн. КОЕ/г, для левобережья – 3,4-37,5 млн. КОЕ/г.

Динамика микроорганизмов–иммобилизаторов азота в городских почвах была иной. Пределы варьирования составляли 3,4 – 37,5 млн. против 10,5 – 24,3 млн. КОЕ/г в контроле для правобережной части и 0,9 – 13,9 млн. против 2,2 – 10,4 млн. КОЕ/г в

Эколого-трофическая структура урбаноземов г. Воронежа

Показатели	Контроль	Городские зоны			
		рекреации	селитебные	промышленные	транспортные
<i>ПРАВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ</i>					
Аммонификаторы, млн. КОЕ/г	1,7-4,7*	2,7-14,2	6,8-32,2	9,4-41,7	14,0-21,8
$K_{имм.}$	2,6-6,2	1,8-2,3	0,6-1,6	0,3-0,9	0,6-1,4
$K_{олиг.}$	2,3-2,8	1,0-1,2	0,3-2,1	0,3-0,4	0,3-0,7
Грибы, тыс. КОЕ/г	10-13	11-16	9-26	21-35	10-15
Грибы/актиномицеты	0,01-0,07	0,02-0,06	0,02-0,09	0,01-0,12	0,01-0,10
<i>ЛЕВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ</i>					
Аммонификаторы, млн. КОЕ/г	1,5-2,2	2,9-3,7	5,4-10,7	4,5-10,0	5,3-6,9
$K_{имм.}$	3,1-4,7	1,4-1,9	0,6-1,3	0,2-0,7	0,8-1,2
$K_{олиг.}$	1,8-2,5	1,0-1,7	0,3-0,9	0,2-1,0	0,6-0,7
Грибы, тыс. КОЕ/г	7-15	10-15	13-57	39-45	12-21
Грибы/актиномицеты	0,01-0,03	0,04-0,15	0,01-0,10	0,01-0,10	0,01-0,06

* минимальное-максимальное значение

контроле для левобережной части города. Коэффициент иммобилизации азота в урбаноземах закономерно снижался в аналогичной последовательности: в 1,5 – 3 раза в рекреациях, в 1,5 – 7,5 раза в селитебных зонах, в 2,5 – 10 раз в транспортных и в 3 – 23 раза в промышленных зонах, однотипно для обеих частей города.

Динамика изменения численности олигонитрофилов и степень снижения коэффициента олиготрофности городских почв были аналогичны предыдущей группе микроорганизмов.

Численность мицелиальных микроорганизмов в урбаноземах г. Воронежа возрастала до 1,5 раз в селитебных зонах и в 2-3,5 раза в промышленных зонах правобережной части. Для почв левобережной части города отмечен больший рост численности мицелиальных форм – до 4 раз в селитебных зонах и в 3-5 раз в промышленных. Такую динамику наблюдали как для микроскопических грибов, так и для актиномицетов, соотношение мицелиальных форм было примерно постоянным во всех точках отбора.

Отмеченные изменения численности отдельных эколого-трофических групп микроорганизмов и структуры МСО городских почв свидетельствует о значительном нарушении функционирования урбаноземов. Рост численности аммонификаторов, микромицетов и актиномицетов указывает на усиление минерализационных процессов, в результате чего снижается содержание почвенного органического вещества. Значительно большая чувствительность

микроорганизмов-иммобилизаторов азота и олиготрофов к антропогенному прессингу приводит к уменьшению запаса азота в микробной биомассе городских почв. Учитывая, что растительные остатки практически не поступают в почву городов, баланс органических веществ урбаноземов становится резко отрицательным, что ведет к дегумификации, деградации и потере плодородия.

Возрастание численности активных деструкторов биополимеров в зонах максимальной антропогенной нагрузки может определяться также перестройкой их видовой структуры и активным размножением микроорганизмов, деградирующих ксенобиотики или устойчивых к ним. Изменение биоразнообразия почвенных микроорганизмов в урбанэко системах было изучено на примере микромицетов (табл. 2).

Количество типичных видов микромицетов было примерно одинаково во всех точках отбора, но доля их в общем комплексе грибов возрастала до 60-80% в селитебных зонах и до 80-90% в промышленных и транспортных зонах за счет резкого уменьшения доли случайных видов. Количество доминантных и часто встречающихся видов грибов также возрастало в почвах городских зон с наибольшей антропогенной нагрузкой за счет снижения числа типичных редких видов.

Кроме отмеченного снижения биоразнообразия микромицетов в городских почвах (“концентрация доминирования”), обнаружено изменение их видового состава. Количество общих с контролем видов

Показатели видовой структуры комплекса микромицетов урбаноземов г. Воронежа

Показатели	Правобережная часть, зоны					Левобережная часть, зоны				
	1*	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Количество типичных видов	19	19	17	20	20	17	17	15	18	19
Из них доминантов и часто встречающихся	12	12	10	14	14	10	10	10	13	14
Общие виды с зоной:										
1	-	7	5	1	0	-	5	4	0	0
2	7	-	4	1	0	5	-	4	1	1
3	5	4	-	3	3	4	4	-	1	1
4	0	0	3	-	5	0	1	1	-	5
5	0	0	3	5	-	0	1	1	5	-
Суммарная плотность типичных видов, % **	54-58	59-65	63-71	87-93	84-96	44-47	54-58	63-79	81-90	90-93
Темнопигментированные виды	1	2	2	4	4	1	3	3	2	4
Токсигенные виды	3	3	4	10	10	3	1	5	11	10
Доля от числа типичных видов, %	30	42	60	100	100	40	40	80	100	100

* 1 - контроль, 2 – рекреации, 3 – селитебная зона, 4 – промышленная зона, 5 – транспортная зона

** - min-max значение

в ранге доминантов и часто встречающихся было наибольшим для зон рекреаций, снижалось для селитебных зон, а в почвах промышленных и транспортных зон состав видов совершенно изменялся. Возрастала доля темнопигментированных и токсигенных видов, а в почвах транспортных и промышленных зон города все типичные виды были представлены именно этими грибами.

Все типичные виды почвенных микромицетов можно разделить на 2 группы (табл. 3). В первую группу входят виды, чувствительные к антропогенной нагрузке (доминируют в контроле, но исчезают в урбаноземах), вторая – виды, индикаторные для почв урбаноземосистем (ранг доминирования резко возрастает в урбаноземах).

К первой группе относятся грибы-эпифиты, фитопатогены или виды, развивающиеся на разлагающихся в почве растительных остатках. Вероятно, снижение частоты встречаемости этих видов связано с угнетением роста и развития растений в городах.

Наибольший интерес для биоиндикации представляет вторая группа видов грибов. Эти виды, нетипичные или редко встречающиеся в контроле, активно синтезируют токсины с антибиотическим, фунгицидным, фито – и зоотоксическим действием [13]. Вероятно, эта способность метаболизма позволяет им выигрывать обостряющуюся в условиях антропогенно-

го прессинга конкурентную борьбу с другими видами грибов. Кроме того, многие из этих видов содержат темные пигменты, которые обладают антиоксидантными свойствами, обеспечивают защиту от иссушения и повышенной инсоляции [13]. Именно виды второй группы рекомендованы нами для биоиндикации степени техногенного изменения урбаноземов.

Фитотоксические свойства урбаноземов г. Воронежа представлены в табл.4. Фитотоксичность почвы была минимальна весной, возрастала летом в период иссушения почвы и несколько снижалась к осени. Уровень фитотоксикоза пригородных почв оказался довольно высоким по сравнению с почвами, удаленными от города на расстояние более 50 км, особенно ингибирование роста корня тест-растения. В урбаноземах г. Воронежа отмечен резкий рост фитотоксикоза: в рекреациях в 1,5 раза, в селитебных зонах – в 3 раза в правобережной части и в 4-5 раз в левобережной части города, а в промышленных и транспортных зонах ингибирование роста корня тест-растения составляло более 90%. Для урбаноземов характерно возрастание ингибирования не только роста корня, но и всхожести семян тест-растения. В наиболее измененных и загрязненных почвах города этот показатель достигал 20 %.

Усиление развития МСО с помощью напыления крахмала (метод ИМС) в пригородных почвах

Состав типичных видов микромицетов урбаноземов г. Воронежа

Группы видов	В целом по городу	Только в правобережной части	Только в левобережной части
Чувствительные	Penicillium tardum, Paecilomyces lilacinum, Aspergillus ustus*, Gliocladium virens, Mucor pusilus, Rhizopus stonifer, Cladosporium herbarum**, Fusarium spp., Trichoderma koningii*, T.harzianum*	P.simplicissimus, Acremonium sp., M.hiemalis, T.viride*	Cephalosporium sp., Sporotrichum sp., Botrytis cinerea
Индикаторные в урбоэкосистеме	Botryotrichum piluliferum**, Alternaria tenuis**, Stachybotrys chartarum**, Humicola grisea** A. terricola*, A. terreus, P.variabile*, P.viridicatum*, P.purpurogenum*, P.notatum*, P.rubrum*, P.rugulosum*, P.citrinum*	A.alliaceus*, A.fumigatus*, P.velutinum*, Trichothecium roseum*	H.insolens**, A.versicolor*, A.ochraceus*, A.tamaritii*, A.clavatus*, A. flavus*, F.nivale*

* токсигенные виды, ** темнопигментированные виды

Таблица 4

Фитотоксические свойства урбаноземов г. Воронежа

Срок отбора	Ингибирование, %	Городские зоны				
		контроль	рекреации	селитебная	промышленная	транспортная
<i>ПРАВЫЙ БЕРЕГ</i>						
июль	всхожести семян	2/2*	3/7	4/5	16/22	10/21
	роста корня	14/18	26/27	42/55	83/88	67/79
октябрь	всхожести семян	0/2	2/7	3/9	10/19	10/12
	роста корня	7/9	27/24	43/55	76/84	71/75
<i>ЛЕВЫЙ БЕРЕГ</i>						
июль	всхожести семян	0/2	5/9	17/21	20/28	23/30
	роста корня	14/22	30/34	70/80	77/90	86/91
октябрь	всхожести семян	2/3	3/6	8/15	17/21	18/19
	роста корня	7/10	20/27	70/86	75/79	76/86

* числитель – нативная почва, знаменатель – ИМС

и рекреациях приводило к росту уровня фитотоксикоза в 2-3 раза по всхожести семян и в 1,5 раза по ингибированию роста корня, что свидетельствует о важной роли биологического фактора в этом процессе. В загрязненных зонах города показатели фитотоксичности ИМС мало отличаются от нативной почвы, вероятно, здесь возрастает роль токсикантов, накопленных в почве. Как было показано нами ранее [14], фитотоксины могут накапливаться и длительно сохраняться в почве. Очевидно, высокий уровень фитотоксикоза урба-

ноземов определяется накоплением не только химических токсикантов, но и микотоксинов.

Длительное сохранение в почве и концентрация микотоксинов в пищевых цепях почва – микроорганизмы – растения – человек представляет санитарно – гигиеническую опасность. Переносимые с пылью споры ряда индикаторных видов грибов могут вызывать аллергические заболевания и вторичные микозы, особенно у людей с ослабленным иммунитетом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарушение МСО почвы в условиях антропогенного пресса крупного промышленного центра представляет экологическую опасность. Степень нарушения заметно различается для почв разных категорий земельного фонда. Наиболее изменена эколого-трофическая и видовая структура микрофлоры селитебных, промышленных и транспортных зон г. Воронежа. Результаты микробиоиндикации почв свидетельствуют об углублении процессов деградации, дегумификации и нарушения азотного баланса в урбаноземах.

Снижение биоразнообразия почвенных микроорганизмов указывает на низкую экологическую устойчивость урбаноземов, которая снижается в ряду: пригородные почвы > рекреации > селитебные > > транспортные > промышленные зоны города. Наиболее изменена микрофлора урбаноземов левобережной части города. Особое внимание привлекает накопление несвойственных зональным типам почв токсигенных, аллергенных и патогенных видов микроскопических грибов в почвах вблизи крупных промышленных предприятий металлообрабатывающей и химической промышленности, ТЭЦ, у перекрестков оживленных транспортных магистралей.

Выявленные индикаторные на загрязнение показатели (степень нарушения азотного баланса урбаноземов по изменению эколого-трофической структуры микрофлоры, повышенный уровень фитотоксикоза почв, накопление санитарно-опасных видов микромицетов) могут быть использованы для микробиомониторинга почв г. Воронежа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почва, город, экология / Под ред. Г. В. Добровольского – М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. – 320 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек / Х. А. Джувеликян – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
3. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н. С. Касимова – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.
4. Строганова М.Н. Роль почв в городе / М. Н. Строганова, А. Д. Мягкова, Т. В. Прокофьева // Почвоведение. 1997. №1. С. 16-24.
5. Мамчик Н.П. Эколого-гигиенические основы мониторинга и охраны городской среды / Н. П. Мамчик, С. А. Куролап, О. В. Клепиков и др. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002, – 332 с.
6. Марфенина О.Е. Микробиологические аспекты охраны почв / О. Е. Марфенина – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 118 с.
7. Гузев В.С. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов / В. С. Гузев, С. В. Левин // Перспективы развития почвенной микробиологии – М.: МАКС Пресс, 2001. С. 178 – 219.
8. Структурно-функциональная роль почвы в биосфере / Под ред. Г. В. Добровольского – М.: ГЕОС, 1999. – 287 с.
9. Марфенина О.Е. Особенности комплексов микроскопических грибов урбанизированных территорий / О. Е. Марфенина, Н. М. Каравайко, А. Е. Иванова // Микробиология. 1996. Т. 65. №1. С. 119 – 124.
10. Марфенина О.Е. Микроскопические грибы во внешней среде города / О. Е. Марфенина, А. Б. Кулько, А. Е. Иванова // Микология и фитопатология. 2002. Т. 36. №4. С. 22 – 31.
11. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 244 с.
12. Андреюк Е.И. Методологические аспекты изучения микробных сообществ почвы / Е. И. Андреюк // Микробные сообщества и их функционирование в почве – Киев: Наукова думка, 1981. С. 91-94.
13. Свистова И.Д. Накопление токсичных видов микроскопических грибов в городских почвах / И. Д. Свистова, А. П. Щербаков, И. И. Корецкая, Н. Н. Талалайко // Гигиена и санитария. 2003. №5.
14. Свистова И.Д. Фитотоксическая активность сапротрофных микромицетов чернозема: специфичность, сорбция и стабильность фитотоксинов в почве / И. Д. Свистова, А. П. Щербаков, Л. О. Фролова // Прикл. биохимия и микробиология. 2003. Т. 39. №4. С. 433-437.