

## БИОИНДИКАЦИЯ ПОЧВЫ ТРАНСПОРТНЫХ ЗОН Г. ВОРОНЕЖА

Н. Н. Назаренко, И. И. Корецкая, И. Д. Свистова

*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия  
Воронежский государственный педагогический университет, Россия*

*Поступила в редакцию 19 сентября 2014 г.*

**Аннотация:** Обобщены результаты многолетних исследований микробиоиндикации почв различных функциональных зон г. Воронежа. Установлен тренд к росту фитотоксической активности (более 10 раз по сравнению с контролем) и снижению микромозаичности городских почв в транспортных зонах. Для биоиндикации городских почв предложено использовать индикаторные и не характерные для контроля виды микроскопических грибов, а также фитотоксическую активность почвы, определяемую методом биотестирования.

**Ключевые слова:** биоиндикация, городские почвы, загрязнение, микромицеты, фитотоксичность.

**Abstract:** The results of long-continued studies over soil microbioreindication in different functional areas of Voronezh City are generalized in the article. There is also a trend specified to the growth of phytotoxic intensity (more than 10 times in comparison with control) and to the reduction of urban soil micropattern structure. Indicative and classless for control mushroom families as well as phytotoxic intensity of soil, specified with the use of biotesting method are suggested to be used for urban soils bioindication.

**Key words:** bioindication, urban soils, pollution, micromycetes, phytotoxicity.

В г. Воронеже сложилась сложная экологическая ситуация, связанная с ростом автотранспортной нагрузки. По данным Управления ГИБДД ГУВД по Воронежской области, парк автомобилей в областном центре за последние годы значительно увеличился [10]. В 2001 г. было зарегистрировано 204,4 тыс. автомобилей, в 2012 г. – 270,2 тыс., а на 01.01.2014 года этот показатель составил 340,2 тыс. [8, 9]. Эта тенденция непосредственно отражается и на валовом выбросе загрязняющих веществ от автотранспорта, доля которых составляет более 90 % от всех поллютантов, попавших в городскую атмосферу. Ежегодный объем суммарных выбросов от автотранспорта за последние 5 лет превысил 100 тыс. тонн [9]. Основными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы (ТМ), нефтепродукты и газовые выбросы. Поллютанты накапливаются в почве, что приводит к нарушению ее структуры и функций в урбоземных системах [14].

В последние годы актуальной становится оценка загрязнения городских почв разными методами. Многие авторы считают ТМ очень удобными индикаторными веществами при изучении загряз-

нения почв в силу того, что они довольно распространены, сравнительно легко определяются, а токсичный эффект многих металлов довольно хорошо изучен [1, 14, 16]. Все чаще отдается предпочтение методам биотестирования, наиболее чувствительными показателями которого выступает структура почвенного микробного сообщества [13, 15], а также показатели биологической активности почвы [1, 10]. Реакция микроорганизмов на загрязнение проявляется быстро и при уровне загрязнения ниже ПДК, что позволяет проводить раннюю диагностику и оценивать необходимость ремедиации городских почв. Ряд авторов предлагают для биоиндикации использовать мицелиальные микроорганизмы (микромицеты) как наиболее чувствительные [1, 13, 15]. Показателем биологической активности почвы может служить фитотоксическая активность, которая обусловлена как накоплением поллютантов, так и нарушениями почвенного микробного сообщества.

Большинство работ по биоиндикации проводят на примере почвы крупных городов (Москва, Ростов-на-Дону) в модельных экспериментах [1, 10], что не отражает истинные нарушения микробного сообщества. Ранее нами проводились ис-

следования почвенной биоты урбаноземов г. Воронежа в реальных условиях городского загрязнения при сравнительно сниженном уровне автотранспортной нагрузки на почву.

В настоящей статье авторы предприняли провести оценку уровня загрязнения почвы различных функциональных зон г. Воронежа, направленности их микробной сукцессии и динамики биологической активности по результатам двух туров обследования с разницей в 10 лет (2001-2003 гг. и 2011-2013 гг.).

Почвенные пробы отбирали в середине июля с глубины 0-10 см согласно «ГОСТ 17.4.3.01. – 83. Почвы» по различным функциональным зонам.

*Рекреационная зона* представлена ненарушенными или слабо нарушенными почвами (черноземы выщелоченные, частично культуроземы). Пробы отбирали на территории парков «Алые паруса», ЦП культуры и отдыха, «Олимпик».

*Транспортная зона* – пробы отбирали на расстоянии 3-5 м от полотна оживленных автомагистралей (почвы урбаноземы и индустроземы). Точки отбора проб: по Ленинскому проспекту (перекрестки с ул. Остужева, Димитрова, Лебедева), по Московскому проспекту (перекресток с ул. Хользунова), по ул. Плехановская (перекрестки с пр. Революции и ул. Донбасская), по проспекту Патриотов (перекресток с ул. Героев Сибириков), по проспекту Труда (перекресток с ул. 9 Января).

В качестве контроля использовали ненарушенные черноземы выщелоченные пригородной зоны (пос. Рамонь ВНИИ СС).

Численность микромицетов определяли на агаризованной среде Чапека, а видовой состав изолятов – по соответствующим определителям [2, 3, 11]. Для характеристики структуры комплекса микромицетов использовали критерии частоты встречаемости и плотности видов [12].

Фитотоксичность почвы выявляли методом биотестирования на почвенных пластинах [7]. Тест-культура редис посевной (*Raphanus sativus* L.) сорта «Жара». Критерием токсичности почвы считаются достоверно значимые различия с контролем, превышающие 20 % [7].

Содержание подвижных форм ТМ (Cd, Pb, Zn, Ni, Cu) в почвах определяли на атомно-абсорбционном спектрометре «СПЕКТР-5-4», предварительно экстрагируя воздушно-сухие почвенные образцы аммонийно-ацетатным буфером (рН 4,8). Для анализа содержания нефтепродуктов применен метод хлороформ-гексановой экстракции [4].

Экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами статистического анализа с использованием программ Excel и Statistica 6.0.

Представлено содержание основных загрязняющих веществ в различных функциональных зонах г. Воронежа (2013 г.). В рекреационных зонах ЦПКиО «Динамо» и парка «Алые паруса» среднее содержание нефтепродуктов выше региональных фоновых значений, но ниже ОДК. В транспортных зонах в целом по городу в 43 % почвенных пробах концентрация нефтепродуктов превышает ОДК. Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов отмечены в транспортных зонах левобережной части города. Так, в районе ВАИ, на примыкающих участках пересечений улиц Димитрова и Волгоградской их фоновые концентрации превышены в 50 раз. Отдельные зоны высокого загрязнения почвы нефтепродуктами обнаружены на перекрестках Ленинского проспекта и ул. Лебедева – в 30 раз выше фона. В правобережной части города фоновые значения превышены в 35 раз на перекрестке ул. Плехановской и Донбасской.

Из ТМ обнаружено превышение ПДК городской почвы транспортной зоны по веществам первого класса опасности. Загрязнение кадмием более чем в 2 раза, превышающее ПДК (0,11-0,23 мг/кг), наблюдается также на оживленных перекрестках левобережья: Ленинского проспекта с улицей Лебедева и улиц Димитрова и Волгоградской.

По свинцу превышение фона от 2 до 7 раз обнаружено на пересечении пр. Труда с ул. 9 Января, ул. Транспортной и Урицкого, ул. Плехановской и Донбасской. На пересечении ул. Димитрова и Волгоградской отмечено превышение ПДК по свинцу.

По другим ТМ существенного превышения ПДК в почве не отмечено, но по сравнению с фоновым содержанием подвижные формы цинка выше от 3 до 4 раз.

Методом биоиндикации обнаружен значительный рост фитотоксикоза урбаноземов в транспортных зонах города. При этом выявлено, что сильнее угнетался рост корня тест-растения по сравнению с показателем всхожести семян (таблица 1).

В рекреационных зонах города рост фитотоксической активности по сравнению с пригородными почвами не превышал допустимого уровня, а в транспортных зонах фитотоксическая активность почвы значительно возрастала. По результатам I тура обследования показатели значительно варьировали от 25 до 50 %. По результатам II тура за прошедшие 10 лет отмечается снижение разброса

Фитотоксическая активность почвы г. Воронежа (% ингибирования)

Показатели	Контроль	Городские зоны	
		рекреационные	транспортные
<i>Среднее за 2002-2004 гг.</i>			
всхожесть семян	2	3-4	4-16*
рост корня	9	8-14	25-50*
<i>2011 г.</i>			
всхожесть семян	2	3-6	12-23*
рост корня	4	8-16*	39-52*
<i>2012 г.</i>			
всхожесть семян	1	2-5	8-9*
рост корня	5	10-13	45-47*
<i>2013 г.</i>			
всхожесть семян	2	1-10*	10-35*
рост корня	7	12-21*	35-75*
<i>Среднее за 2011-2013 гг.</i>			
всхожесть семян	3	2-7	10-22*
рост корня	5	10-17	43-59*

\*различия статистически значимы по сравнению с контролем при  $p \leq 0.05$

Таблица 2

Структура комплекса микромицетов в почве г. Воронежа

Показатели	Контроль	Городские зоны	
		рекреационные	транспортные
Численность, $10^3$ КОЕ/г	5-13	2-16	7-23
Количество типичных видов	17-19	17-19	19-20
Общих с контролем видов	–	5-7	0
Суммарная плотность типичных видов, %	44-58	54-65	84-96
Из них токсигенных	10-18	12-23	97-100

минимальных-максимальных значений от 43 до 59 %, что указывает на более глубокие нарушения почвенной биоты и согласно критериям экологической оценки состояния почв соответствует уровню экологического бедствия [7].

Высокая фитотоксическая активность почв может свидетельствовать не только об их значительном техногенном химическом загрязнении, а поставщиками токсичных веществ, угнетающих рост и развитие растений, могут быть почвенные микроорганизмы, в частности, почвенные грибы (микромицеты) [12, 15].

Анализ микробного сообщества городских почв показал, что в условиях антропогенного загрязнения происходит перестройка структуры микромицетов по сравнению с контролем (таблица 2).

В рекреационных зонах обнаружена незначительная перегруппировка типичных видов грибов по частотам встречаемости, что соответствует стрес-

совой реакции. В транспортных зонах города наблюдали полную смену видового состава микромицетов, снижение видового разнообразия и эффект «концентрации доминирования» токсигенных видов, что соответствует резистентной реакции сообщества.

Обращает на себя внимание накопление видов, продуцирующих микотоксины. Доля токсигенных видов в транспортной зоне достигала в некоторых точках отбора 100 %. Обнаруженное явление свидетельствует о важной роли микробного фактора в развитии фитотоксикоза городских почв.

Авторами были выделены 4 группы видов почвенных грибов по их реакции на городское загрязнение (таблица 3). В первую группу входят чувствительные к антропогенной нагрузке виды. Это стенотопные виды, которые проявляют максимальную чувствительность к техногенным нагрузкам. Они являются типичными для черноземных почв, но не обнаружены в городских почвах. Сюда вхо-

Реакция почвенных микромицетов на городскую нагрузку

Виды микромицетов	Группы
<i>Acremonium alternatum</i> , <i>Cephalosporium acremonium</i> , <i>Paecilomyces lilacinum</i> , <i>Trichoderma koningii</i> *, <i>P. daleae</i> , <i>P. simplicissimus</i> , <i>Aspergillus ustus</i> *, <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium solani</i> *	<b>Чувствительные</b>
<i>P. tardum</i> *, <i>P. expansum</i> , <i>Humicola grisea</i> *, <i>A. wentii</i> *, <i>Gliocladium virens</i>	<b>Устойчивые</b>
<i>A. clavatus</i> *, <i>A. terreus</i> *, <i>A. flavus</i> *, <i>A. alliaceus</i> *, <i>Penicillium funiculosum</i> *, <i>P. rubrum</i> *, <i>P. rugulosum</i> *, <i>P. notatum</i> *, <i>Botryotrichum piluliferum</i> *, <i>Talaromyces flavus</i> *, <i>Alternaria tenuis</i> *, <i>Stachybotrys chartarum</i> *	<b>Индикаторные</b>
<i>A. terricola</i> *, <i>A. ochraceus</i> *, <i>A. versicolor</i> *, <i>A. fumigatus</i> *, <i>A. tamarit</i> *, <i>P. viridicatum</i> *, <i>P. purpurogenum</i> *, <i>P. velutinum</i> *, <i>P. variable</i> *, <i>G. roseum</i> *, <i>F. nivale</i> *	<b>Не характерные для контроля</b>

\* токсигенные виды [3, 12]

дят грибы-эпифиты, фитопатогены или виды, развивающиеся на разлагающихся в почве растительных остатках.

Во вторую группу входят эвритопные виды микромицетов, доля которых в городских почвах сохраняется постоянной. Это *устойчивые* к городскому загрязнению виды микроскопических грибов.

Наибольший интерес для биоиндикации представляет группа видов, ранг доминирования которых возрастает в урбоэкосистемах. Это *индикаторные* виды, нетипичные или редко встречающиеся в контроле, активно синтезируют токсины [3, 12]. К ним относятся виды рода *Penicillium* (*P. rubrum*, *P. rugulosum*, *P. notatum*, *P. funiculosum*), рода *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. terreus*, *A. clavatus*, *A. alliaceus*). Вероятно, эта способность метаболизма позволяет им выигрывать конкурентную борьбу с другими видами микроорганизмов и сохраняться даже в почве транспортных зон города.

Кроме того, в почвах города Воронежа нами обнаружено появление не характерных для контроля видов: *Penicillium viridicatum*, *P. purpurogenum*, *Aspergillus terricola*, *A. fumigatus* и другие. Это заносные виды, характерные для более южных регионов, которые интродуцируются в городские почвы с нарушенным микробным сообществом.

Таким образом, в почве транспортных зон г. Воронежа обнаружено превышение ПДК по подвижным формам ТМ (по свинцу и кадмию 1,5-2 раза), и ОДК по нефтепродуктам (в 3 раза), особенно в левобережной части.

На основе проведенных многолетних исследований по биотестированию выявлен тренд к росту

фитотоксической активности (более 10 раз по сравнению с контролем) и снижению микромозаичности городских почв в транспортных зонах г. Воронежа. Столь значительные изменения в дальнейшем приведут к нарушению выполнения почвой экологических функций.

Одной из причин этого негативного процесса является как накопление поллютантов в местах скопления автотранспорта на оживленных перекрестках улиц, где двигатели работают в режиме форсажа с неполным сгоранием топлива. Вторая причина связана с нарушением структуры микробного сообщества почвы транспортных зон и возрастание доли токсигенных видов микромицетов.

Для целей биоиндикации городских почв мы предлагаем следующие параметры: индикаторные и не характерные для контроля виды микроскопических грибов, а также фитотоксическую активность почвы, определяемую методом биотестирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаркова М. Г. Биологическая активность почв урбанизированных территорий / М. Г. Агаркова, М. Н. Строганова, И. Н. Скворцова // Вестник Московского университета. Сер. 17, Почвоведение. – 1994. – № 1. – С. 45-49.
2. Билай В. И. Аспергиллы : определитель / В. И. Билай, Э. З. Коваль. – Киев : Наукова думка, 1988. – 204 с.
3. Билай В. И. Определитель токсинообразующих микромицетов / В. И. Билай, З. А. Курбацкая. – Киев : Наукова думка, 1990. – 233 с.

4. Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв / Л. А. Воробьева. – Москва : ГЕОС, 2006. – 400 с.
5. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – Утверждены Гл. государственным санитарным врачом РФ 23.01.2006, № 1. – Москва, 2006.
6. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно-допустимые концентрации химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. – Утверждены Гл. государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009, № 32. – Москва, 2009.
7. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 15 с.
8. Доклад о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности г. Воронежа в 2001 году. – Воронеж, 2002. – 38 с.
9. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2013 году / Управление экологии администрации городского округа город Воронеж. – Воронеж, 2014. – 67 с.
10. Илюшкина Л. Н. Биологическая активность почв урбололандшафтов г. Ростова-на-Дону и г. Азова : авто-

реф. дис. ... канд. биол. наук / Л. Н. Илюшкина. – Ростов на Дону, 2008. – 21 с.

11. Кашкин П. Н. Определитель патогенных, токсигенных и вредных для человека грибов / П. Н. Кашкин. – Москва : Медицина, 1979. – 137 с.
12. Мирчинк Т. Г. Почвенная микология / Т. Г. Мирчинк. – Москва : Московский государственный университет, 1988. – 220 с.
13. Назаренко Н. Н. Микробиологическая индикация почв урбололандшафтов / Н. Н. Назаренко, И. Д. Свистова. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет, 2013. – 135 с.
14. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 г. – Москва, 2013. – 178 с.
15. Терехова В. А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем / В. А. Терехова. – Москва : Наука, 2007. – 215 с.
16. Федорова А. И. Загрязнение поверхностных горизонтов почв г. Воронежа тяжелыми металлами / А. И. Федорова, Е. В. Шунелько // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2003. – № 1. – С. 74-82.

Назаренко Наталья Николаевна  
кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и защиты растений Воронежского государственного аграрного университета им. императора Петра I, г. Воронеж, т. 8(910)3431576, E-mail: [talalajko@mail.ru](mailto:talalajko@mail.ru)

Корецкая Инна Ивановна  
кандидат биологических наук, доцент кафедры экологического образования Воронежского государственного педагогического университета, г. Воронеж, т. 8(904)2121354, E-mail: [innakoreckaja@rambler.ru](mailto:innakoreckaja@rambler.ru)

Свистова Ирина Дмитриевна  
доктор биологических наук, профессор кафедры биологии растений и животных Воронежского государственного педагогического университета, г. Воронеж, т. 8(919)2364869, E-mail: [i.svistova@mail.ru](mailto:i.svistova@mail.ru)

Nazarenko Natal'ya Nikolayevna  
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the chair of Biology and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Voronezh, tel. +7(910)3431576, E-mail: [talalajko@mail.ru](mailto:talalajko@mail.ru)

Koretskaya Inna Ivanovna  
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the chair of ecological education, Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, tel. 8(904)2121354, E-mail: [innakoreckaja@rambler.ru](mailto:innakoreckaja@rambler.ru)

Svistova Irina Dmitriyevna  
Doctor of Biological Sciences, Professor of the chair of plant and animal biology, Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, tel. +7 (919) 2364869, E-mail: [i.svistova@mail.ru](mailto:i.svistova@mail.ru)