

Л.О. Серeda

Мониторинг токсического загрязнения почвенного покрова города Воронежа с использованием методов биотестирования

В статье приведены результаты оценки экологического состояния почвенного покрова города Воронежа с использованием методов биотестирования. Отбор образцов проводился в 2014–2015 годах в 116 точках в разных функциональных зонах города. В качестве тест-культуры для определения фитотоксичности почв использовали овес посевной (*Avena sativa*) и кресс-салат (*Lepidium sativum*). Для определения относительной токсичности применяли тест-культуру хлореллу (*Chlorella vulgaris*).

Ключевые слова: биотестирование; экодиагностика; почвенный покров; относительная токсичность; фитотоксичность.

Автомобильный транспорт и промышленные предприятия любого крупного города, в том числе и Воронежа, являются основными источниками загрязнения. Многочисленные строительные работы, функционирование и развитие городской инфраструктуры, кислотные осадки также приводят к преобразованию естественного почвенного покрова. Характерными загрязнителями почв города являются нефтепродукты и тяжелые металлы, обладающие высокой степенью токсичности и представляющие угрозу для населения, городской биоты.

Городские почвы являются депонирующей средой для многих поллютантов [1]. Следует отметить, что самоочищения почвенного покрова в городе почти не происходит, токсические вещества накапливаются в нем длительное время, поглощаются растениями и передаются по трофическим цепям.

Оценка токсичности почвенного покрова является актуальным направлением исследований в городском мониторинге. Эффективным подходом для определения степени токсичности является использование методов биотестирования. Их применение позволяет дать интегральную оценку экологического состояния городов [2].

Материал исследования. Для оценки состояния почвенного покрова территории города Воронежа было отобрано 116 образцов из верхних горизонтов почв (10–15 см) в весенне-летний период 2014–2015 годов по заранее выбранным пунктам мониторинга в разных функциональных зонах.

В качестве фона было выбрано семь точек на территории поселка. Рамонь, СНТ (садоводческого некоммерческого товарищества) «Северный бор», Ботанического сада Воронежского государственного университета и санатория

им. Горького с естественным ненарушенным почвенным профилем. Пункты отбора образцов почвы в 2014 года и в 2015 года показаны на рисунках 1 и 2. Отбор проб и подготовка их к анализу осуществлялись по нормативным документам для почвенного покрова: ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы: почвы. Общие требования к отбору проб (1984) и ГОСТ 17.4.4.02–84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа (1984) [3; 4].



Рис. 1. Пункты отбора проб в 2014 году **Рис. 2.** Пункты отбора проб в 2015 году

Результаты и обсуждение. Фитотоксичность является одним из наиболее информативных параметров для оценки техногенной нагрузки на природные среды. Метод позволяет выявить токсическое действие загрязняющих веществ или стимулирующее влияние, активизирующее развитие тест-культур. Для оценки их степени загрязнения почвенного покрова применяли следующие растения-индикаторы: кресс-салат (*Lepidium sativum*) и овес посевной (*Avena sativa*). В качестве биотестов использовали однодольное и двудольное растения, по которым следили за морфологическими изменениями качественных показателей под влиянием загрязнения, таких как энергия прорастания, всхожесть семян, длина главного корня, длина проростка, общая биомасса.

Исследования загрязненности почвы с помощью растений-индикаторов в 2014 г. на проростках кресс-салата (*Lepidium sativum*) и овса посевного (*Avena sativa*) показали, что почвенный покров в промышленной и транспортных зонах города подвержен сильному загрязнению, так как нами был отмечен высокий уровень фитотоксичности. Определение фитотоксичности почвы в жилой зоне показало, что она находится на уровне 40 %, что говорит о среднем уровне загрязнения.

Для образцов почвы, отобранных в зонах рекреации и фоновых участках, характерны высокая всхожесть и хорошее развитие проростков овса и кресс-салата. Почвенный покров в этих зонах не подвержен существенному загрязнению. Напротив, в образцах почв из промышленной и транспортной зон города отмечалось сокращение длины корневой системы. Проростки в этих образцах стали более тонкие и короткие.

Загрязнение нефтепродуктами и тяжелыми металлами способствует резкому снижению таких качественных показателей тест-объектов, как всхожесть, рост и развитие (см. табл. 1).

Таблица 1

**Изменение морфологических показателей биотестов
в разных функциональных зонах (ФЗ) города в 2014 году**

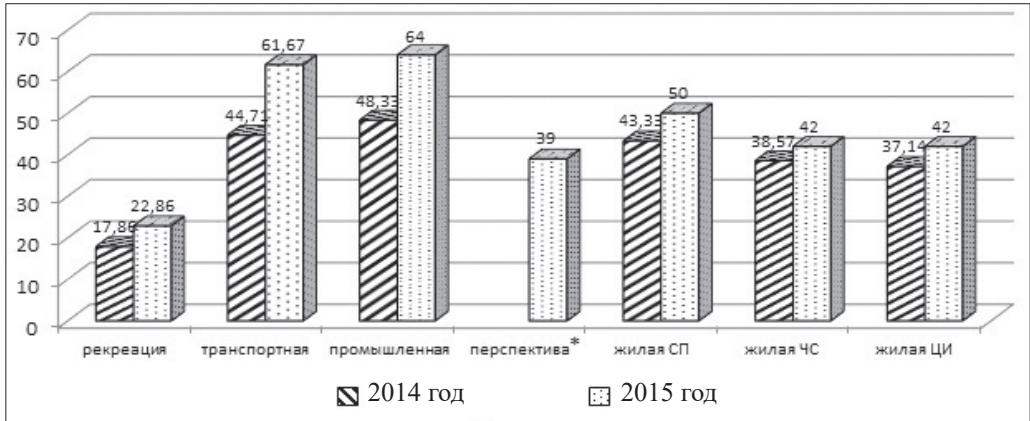
Функциональная зона города	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина главного корня, см	Длина проростка, см	Биомасса, г
Овес посевной (<i>Avena sativa</i>)					
рекреация	14,29	82,14	7,4	10,8	0,77
фон	100	100	8,2	12,0	0,85
транспортная	22,35	55,29	6,3	8,2	0,27
промышленная	10,00	51,67	6,1	9,1	0,26
жилая СП*	23,33	56,67	6,0	10,3	0,50
жилая ЧС*	4,29	61,43	8,0	10,29	0,52
жилая ЦИ*	4,29	57,78	6,71	8,14	0,40
Кресс-салат (<i>Lepidium sativum</i>)					
рекреация	33,57	85,71	6,4	8,1	0,10
фон	100	100	7,7	8,0	0,10
транспортная	47,06	77,65	3,5	5,9	0,06
промышленная	48,89	73,89	3,4	5,4	0,05
жилая СП*	38,33	78,33	4,0	6,5	0,06
жилая ЧС*	50,00	71,43	4,9	6,00	0,04
жилая ЦИ*	34,29	82,86	4,57	6,71	0,06

* Здесь и далее: СП — современная многоэтажная застройка; ЧС — частный сектор; ЦИ — смешанная застройка центральной исторической части города.

По результатам исследований в 2014 году овес посевной (*Avena sativa*) оказался более чувствительным к техногенному загрязнению, напротив, кресс-салат (*Lepidium sativum*) является более выносливым видом, так как отмечается хорошая всхожесть семян и лишь небольшие деформации в процессе развития [5].

Анализ загрязненности почвы с помощью биотеста в 2015 году на проростках кресс-салата (*Lepidium sativum*) и овса посевного (*Avena sativa*) показал, что сохранилась тенденция, отмеченная по результатам исследований в 2014 году: наибольшее загрязнение испытывают почвы, расположенные в транспортной зоне города (рис. 3–4). Кроме того, повышенный уровень

фитотоксического эффекта отмечался в зонах современной жилой многоэтажной застройки. Скорее всего, это обусловлено дефицитом мест для парковки и использованием дворов в жилой зоне в качестве автомобильных стоянок. А это приводит к загрязнению почвенного покрова нефтепродуктами и тяжелыми металлами от выбросов автотранспорта.



* Перспектива — перспективные районы для застройки

Рис. 3. Фитотоксический эффект тест-растения *Avena sativa*

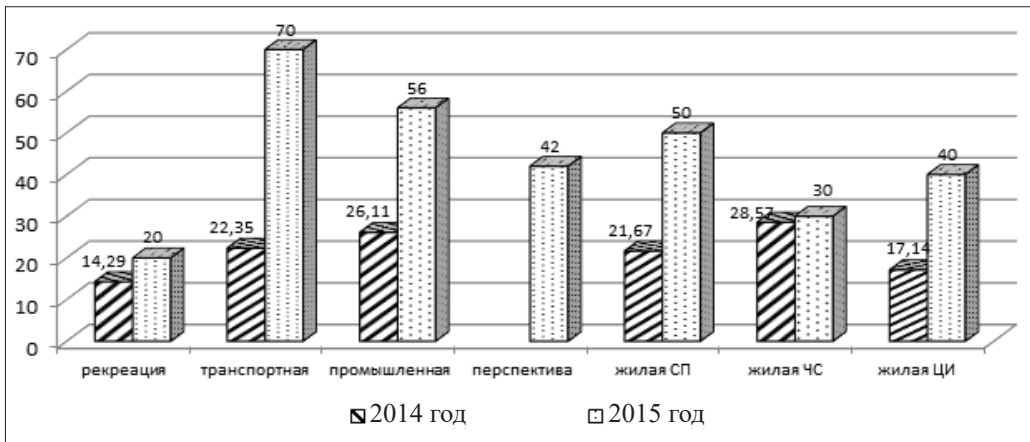


Рис. 4. Фитотоксический эффект тест-растения *Lepidium sativum*

Слабое загрязнение почвенного покрова отмечается по результатам исследования в зоне рекреации города. В зоне перспективной застройки отмечается средний уровень загрязнения почвенного покрова.

В 2015 году наиболее чувствительным тест-растением к загрязняющим почву веществам также оказался овес посевной (*Avena sativa*).

Энергия прорастания в образцах, отобранных в транспортной зоне города, снижена в 3–4 раза по сравнению с образцами, отобранными в зоне рекреации. Длина главного корня в образцах из промышленной и транспортной зон города оказалась в два раза короче по сравнению с фоном. Отмечено, что

с увеличением техногенной нагрузки ухудшаются показатели роста и развития тест-растений (табл. 2).

Таблица 2

**Изменение морфологических показателей биотестов
в разных функциональных зонах (ФЗ) города в 2015 году**

Функциональная зона города	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина главного корня, см	Длина проростка, см	Биомасса, г
Овес посевной (<i>Avena sativa</i>)					
рекреация	32,22	77,14	9,3	10,6	0,65
фон	100	100	13,0	15,0	1,17
транспортная	8,33	38,33	5,7	10,5	0,36
промышленная	14,00	36,00	5,8	7,8	0,21
перспектива	29,00	61,00	7,4	10,5	0,50
жилая СП*	35,00	50,00	7,5	11,0	0,62
жилая ЧС*	34,00	58,00	9,0	10,8	0,51
жилая ЦИ*	16,00	58,00	7,0	9,8	0,43
Кресс-салат (<i>Lepidium sativum</i>)					
рекреация	40,00	80,00	4,6	5,6	0,08
фон	100	100	6,0	7,0	0,21
транспортная	6,67	30,00	2,2	3,5	0,03
перспектива	10,00	44,00	3,6	3,8	0,04
промышленная	30,00	58,00	3,3	4,5	0,05
жилая СП*	20,00	50,00	3,0	4,5	0,04
жилая ЧС*	38,00	70,00	3,6	5,6	0,06
жилая ЦИ*	26,00	60,00	3,6	4,8	0,07

Также нами была отмечена определенная тенденция: для почвенных образцов, отобранных в транспортных зонах города, характерна высокая энергия прорастания (на 3–4-й день), что может быть связано с повышенным содержанием тяжелых металлов, таких как медь, марганец, стимулирующих рост растений, но в дальнейшем негативно сказывающихся на их росте и развитии.

Также для определения уровня токсического загрязнения почвенного покрова города нами были проведены исследования с помощью тест-объекта зеленой протококковой водоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris*).

Методика определения относительной токсичности основана на регистрации различий в оптической плотности тест-культуры, выращенной на среде, которая не содержит токсических веществ (контроль) и тестируемых проб водных вытяжек из почвенных образцов. Измерение оптической плотности позволяет оперативно контролировать изменение численности клеток в контрольном и опытном вариантах. Критерием относительной токсичности является снижение на 20 % и более (подавление роста) или увеличение на 30 % и более (стимуляция роста) значения оптической плотности тест-культуры,

выращиваемой в течение 22 часов на тестируемой среде по сравнению с контрольным образцом, приготовленным на дистиллированной воде.

Результаты исследования в 2014 и 2015 годах показали, что для почвенных образцов, отобранных в промышленной зоне, характерно в основном превышение критерия токсичности, что составляет в среднем 30–50 % (см. рис. 5). Это стимулирует рост тест-культуры. В ряде точек в промышленной зоне, напротив, отмечается подавление роста тест-культуры. В образцах, отобранных в транспортной зоне, отмечается в основном подавление роста тест-объекта, что свидетельствует о высоком загрязнении в этой зоне. В 2015 году в образцах, отобранных в зонах перспективной застройки и жилой современной многоэтажной постройки, отмечается стимуляция роста-тест культуры (увеличение на 36–37 %). В остальных функциональных зонах нами не отмечено высокого уровня относительной токсичности.

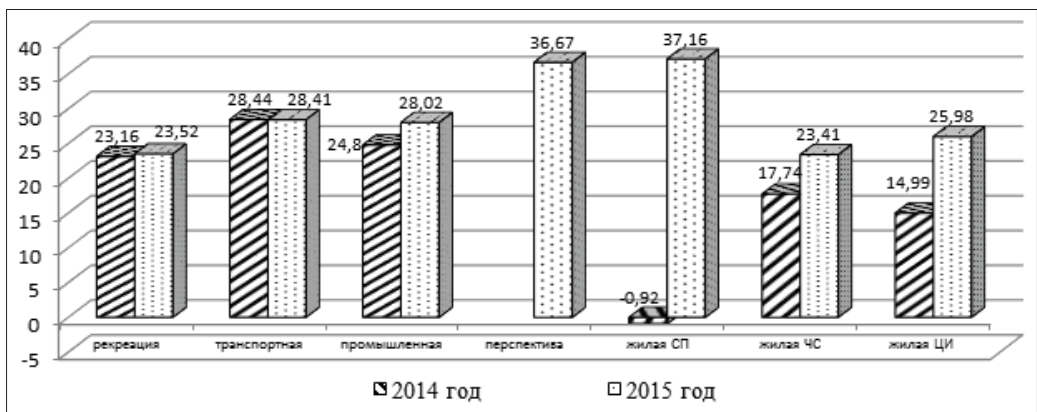


Рис. 5. Уровень относительной токсичности на тест-культуре *Chlorella vulgaris*

Заключение. Проведенные исследования с применением методов биотестирования позволяют сделать следующие выводы:

1. По результатам исследований в 2014 году повышение фитотоксичности тест-растения овса посевного происходит по мере увеличения антропогенной нагрузки в следующем ряду: рекреационная зона < жилая застройка центральной исторической части города < жилая застройка частного сектора < жилая современная многоэтажная застройка < транспортная зона < промышленная зона. По результатам исследований в 2015 году ряд сложился таким образом: рекреационная зона < зона перспективной застройки < жилая застройка частного сектора < жилая застройка центральной исторической части города < жилая современная многоэтажная застройка < транспортная зона < промышленная зона.

2. Использование для определения уровня фитотоксического эффекта почвенного покрова в качестве растений-индикаторов овса посевного (*Avena sativa*) и кресс-салата (*Lepidium sativum*) позволило определить наиболее чувствительную тест-культуру. Овес посевной оказался наиболее чувствителен к антропогенному загрязнению.

3. По данным относительной токсичности, в 2014 году функциональные зоны образуют следующий ряд: жилая современная многоэтажная застройка < жилая застройка исторической части города < жилая застройка частного сектора < рекреационная зона < промышленная зона < транспортная зона. В 2015 году они образуют такой ряд: жилая застройка частного сектора < рекреационная зона < жилая зона исторической части города < промышленная зона < транспортная зона < зона перспективной застройки < жилая современная многоэтажная застройка.

Данные, полученные в результате применения методов биотестирования, согласуются с данными по загрязнению почвенного покрова города тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Поэтому применение методов биотестирования может быть полезно в экологическом мониторинге городских систем, так как позволяет быстро и эффективно оценить качество окружающей среды.

Литература

1. Биологический контроль окружающей среды (биоиндикация и биотестирование) / под ред. О.П. Мелиховой и Е.И. Егорова. М.: Академия, 2007. 288 с.
2. Блинова З.П. Биотестирование почвенного покрова городских территорий с использованием проростков *Raphanus Sativius* // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2014. № 1. С.18–23.
3. ГОСТ 17.4.4.02–84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М.: Госстандарт, 1984. 20 с.
4. ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы: почвы. Общие требования к отбору проб; введ. 01.07.84. М.: Изд-во Стандартов, 1984. 29 с.
5. Середя Л.О., Клевцова М.А. Экологическая оценка почвенного покрова методами биоиндикации и биотестирования // Научное обозрение. 2015. № 20. С. 81–85.

Literatura

1. Biologicheskij kontrol' okruzhayushhej sredy' (bioindikaciya i biotestirovanie) / pod red. O.P. Melixovoj i E.I. Egorova. M.: Akademiya, 2007. 288 s.
2. Blinova Z.P. Biotestirovanie pochvennogo pokrova gorodskix territorij s ispol'zovaniem prorostkov *Raphanus Sativius* // Vestnik MGOU. Seriya «Estestvenny'e nauki». 2014. № 1. S.18–23.
3. GOST 17.4.4.02–84. Pochvy'. Metody' otbora i podgotovki prob dlya ximicheskogo, bakteriologicheskogo i gel'mintologicheskogo analiza. M.: Gosstandart, 1984. 20 s.
4. GOST 17.4.3.01–83. Oxrana prirody': pochvy'. Obshhie trebovaniya k otboru prob; vved. 01.07.84. M.: Izd-vo Standartov, 1984. 29 s.
5. Sereda L.O., Klevcova M.A. E'kologicheskaya ocenka pochvennogo pokrova metodami bioindikacii i biotestirovaniya // Nauchnoe obozrenie. 2015. № 20. S. 81–85.

L.O. Sereda

**Monitoring of Toxic Contamination of the Soil Cover
of the City of Voronezh using the Methods of Biotesting**

The paper presents the results of assessment of ecological conditions ecological of soil cover of the city of Voronezh with the use of methods of biotesting. Sampling was carried out form 2014 to 2015 in 116 points in different functional zones of the city. As the test culture to determine phytotoxicity of soil the sowing oats (*Avena sativa*) and garden cress (*Lepidium sativum*) have been used. as . To determine the relative toxicity the test-culture of *Chlorella* (*Chlorella vulgaris*) has been used.

Keywords: biotesting; ecodiagnosics: soil cover; relative toxicity; phytotoxicity.