

**Оценка состояния почв городских территорий  
методом комплексного биотестирования**

© 2011. Е. С. Трояновская, аспирант, О. В. Абросимова, к.б.н., доцент,  
Е. И. Тихомирова, д.б.н., зав. кафедрой,  
Саратовский государственный технический университет,  
e-mail: ecology@sstu.ru

В работе обосновано применение комплексного биотестирования для оценки состояния почв промышленного города на примере г. Саратова. Проведена оценка токсичности проб почв и почвенных вытяжек с использованием разных биотест-объектов: *Chlorella vulgaris*, *Lemna minor*, *Daphnia magna*, *Raphanus sativus*. Дан сравнительный анализ чувствительности и информативности разных методов биотестирования. Применение комплекса биотест-объектов с разной степенью чувствительности к экотоксикантам позволяет наиболее полно оценить степень техногенной нагрузки на городские почвы и охарактеризовать экологическую ситуацию.

Using the complex bioassay for testing of soils in industrial city (Saratov) was founded in the present work. The toxicity of soil samples and soil extracts was evaluated with the help of various bioassay-objects: *Chlorella vulgaris*, *Lemna minor*, *Daphnia magna*, *Raphanus sativus*. Comparative analysis of sensitivity and informativity was conducted for different methods of bioassay. Using the complex of bioassay-objects with different sensitivity to ecotoxicants allows the fullest assessing of the degree of technogenic burden on soils in urban areas and the fullest characterizing of ecological situation.

Ключевые слова: городские почвы, биотестирование, токсичность

Key words: bioassay, soil, toxicity

Состояние почв городских территорий в настоящее время приобретает катастрофический характер. Процессы урбанизации, включающие строительство различных предприятий, увеличение протяжённости и площади автомагистралей и железных дорог, прогрессивное нарастание количества автотранспорта, применение противогололёдных реагентов, действие атмосферных осадков и сточных вод, осаждение химических веществ – компонентов загрязнения атмосферного воздуха промышленных территорий – приводит ко всё более возрастающей антропогенной нагрузке на почвенный покров. Естественный почвенный покров на большей части урбанизированных территорий практически уничтожен и сохранился лишь островками в городских лесопарках. Почвы городских территорий характеризуются неоднородностью и смешением горизонтов и являются по сути урбанозёмами. В пределах г. Саратова распространены две основные группы почв: реликты природных почв и городские почвы. В черте города на реликтовых участках распространены шесть типов природных почв: серые лесные, чернозёмы обыкновенные, чернозёмы южные, пойменные аллювиальные, лугово-чернозёмные и лугово-каштановые,

солонцы. Локальная дифференциация урбаноландшафтных зон города приводит к формированию пятнистости природных почв, так в балках и оврагах 10% площади занимают пойменные аллювиальные почвы. Все эти почвы характеризуются относительно слабым промывным режимом и способностью к накоплению загрязняющих веществ.

Городские почвы являются депонирующей средой практически для всех поллютантов, поэтому данные, полученные при их комплексном экологическом и геохимическом мониторинге, являются высокоинформативными. Для характеристики антропогенного загрязнения почвенного покрова наряду с химико-аналитическими исследованиями всё большее применение находят методы биотестирования, основанные на оценке состояния тест-организмов, подвергающихся воздействию загрязнённой среды [1]. Биотестирование не даёт информации о природе поллютанта, зато с большой степенью достоверности позволяет определить степень интегральной токсичности всех экотоксикантов, содержащихся в объекте исследования [2].

В связи с этим представлялась актуальной разработка методов комплексного биотести-

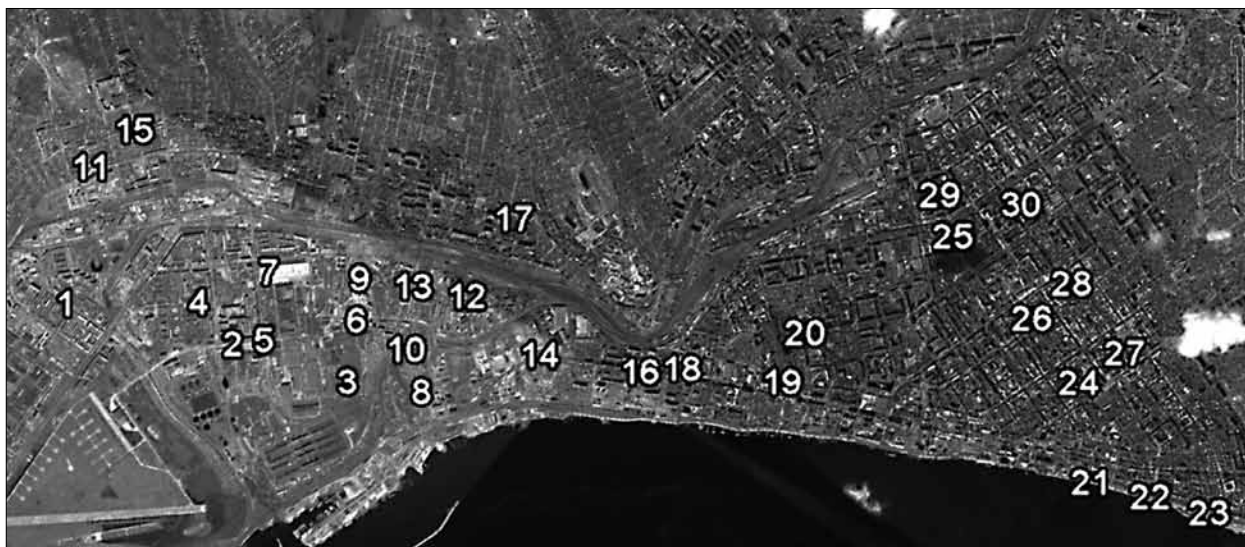


Рис. 1. Точки отбора почвенных проб на территории г. Саратова

вания транспортно-селитебных ландшафтов города с использованием различных по чувствительности биотест-объектов.

В данной работе проведена комплексная оценка токсичности почвенного покрова техногенных зон г. Саратова с помощью биотест-объектов: *Chlorella vulgaris*, *Lemna minor*, *Daphnia magna*, *Raphanus sativus*.

Объектом исследования являлись городские почвы и почвы фоновой территории. Отбор проб проводили в июне 2010 г. в наиболее напряжённых участках городской территории: вдоль железнодорожного полотна, на пересечении главных автомагистралей, поблизости от промышленных предприятий, а также в селитебных районах старой и новой застройки. Для исследования были отобраны пробы почв в 31 точке со строгой картографической привязкой к местности (рис. 1). В качестве контроля использовали пробы почвы лесопарковой территории дома отдыха «Ударник», находящегося в 3 км от г. Саратова.

Для проведения биотестирования готовили водные вытяжки почвы по общепринятой методике [3]. Оценку токсичности почвенных вытяжек проводили по стандартным методикам [1, 4 – 7]. Для получения сопоставимых результатов по итогам тестирования рассчитывали индекс токсичности почв (водной вытяжки) точек пробоотбора сначала для каждой тест-функции по формуле:

$$\text{ИТФ} = (\text{ТФ}_o / \text{ТФ}_k),$$

где  $\text{ТФ}_o$  – значение регистрируемого тест-отклика в опыте,  $\text{ТФ}_k$  – в контроле.

Затем рассчитывали среднее значение индекса токсичности почв (водной вытяжки почв) для каждого пункта по формуле:

$$\text{ИТФ}_{\text{ср}} = (\text{ИТФ}_1 + \text{ИТФ}_2 + \text{ИТФ}_3 + \dots) / n,$$

где  $\text{ИТФ}_n$  – индекс токсичности, рассчитанный для каждой тест-функции,  $n$  – количество тест-откликов, задействованных в эксперименте для конкретной точки пробоотбора [8].

Для сравнительной оценки чувствительности и информативности использования разных биотест-объектов проводили статистическую обработку данных по общепринятой методике [9].

Проведение оценки токсичности водных вытяжек почв на биотест-объекте *C. vulgaris* было самым быстрым и позволило получить результаты через 22 часа. Эта методика основана на регистрации различий в оптической плотности тест-культуры водоросли, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль), и в тестируемых пробах. В результате проведённых исследований гипертоксичными оказались пробы, отобранные в Заводском районе г. Саратова вблизи Саратовского авиационного завода (САЗ) и 4-го жилучастка. Токсичными оказались пробы вблизи автомагистралей Фрунзенского района. В пешеходных зонах центральных улиц и жилых массивов г. Саратова пробы почвы были нетоксичными.

Проведение исследований с использованием биотест-объекта *L. minor* было наиболее информативным, поскольку ряска малая обладает высокой чувствительностью к воз-

действию различных экотоксикантов. Этот тест-объект позволяет проводить оценку токсичности на органном уровне (фиксация морфологических отклонений у листочков) и на организменном уровне (регистрация реализации репродуктивного потенциала). Практически во всех исследуемых пробах были отмечены морфологические отклонения у тест-объекта: хлорозы, изменение окраски. Острое токсическое действие выявлено в 70% проб, где была отмечена 100% гибель *L. minor*. Слаботоксичными оказались пробы, взятые на центральных улицах г. Саратова и улицах жилого массива в Заводском районе. По оценке репродуктивного потенциала *L. minor* все исследуемые пробы почвы оказались гипертоксичными.

При использовании биотест-объекта *D. magna* для оценки токсичности проб городских почв учитывали такие показатели, как выживаемость, плодовитость, двигательная и фильтрационная активность рачков (табл.). Полученные результаты по показателям выживаемости *D. magna* в почвенных вытяжках позволили выявить острое токсическое действие проб, отобранных в районе железной дороги, вблизи промышленных зон САЗ, завода «Биокон» и на территории Набережной Космонавтов г. Саратова. Остальные пробы почв были менее токсичны; нетоксичными оказались пробы, взятые в точках на улице Сакко и Ванцетти в центре г. Саратова.

Достоверное снижение двигательной активности у тест-объекта было выявлено толь-

ко в пробах, собранных вблизи железной дороги, по ул. Пономарёва, ул. Кавказской в Заводском районе и ул. Слонова в центре города. При установлении хронической токсичности почвенных вытяжек размножение тест-объекта зафиксировано в пробах, отобранных с территории городского парка, детского парка, площади перед цирком и Театральной площади.

Метод биотестирования, основанный на показателях изменения флуоресценции хлорофилла микроводорослей, которыми питаются дафнии, по данным ряда авторов, является высокочувствительным [1]. Оценка токсичности воды основана на изменении скорости поглощения пищи рачками в опытных и контрольных пробах. Применение этого метода в наших экспериментах не позволило выявить токсичность почвенных вытяжек, приготовленных из проб почвы с точек на Театральной площади, детского парка, по ул. Крымской и ул. Миллеровской в Заводском районе города. Остальные пробы по результатам данной методики были токсичными и снижали активность питания дафний.

Использование для оценки токсичности почв и почвенных вытяжек фитотест-объекта *R. sativus* оказалось наименее информативным. При учёте результатов всхожести редиса отмечено лишь незначительное подавление роста в почвенных вытяжках проб, отобранных вблизи автомагистралей. Полученные данные не позволили судить о токсичности всех исследуемых проб почвы.

Таблица

Определение токсичности водных вытяжек почв с помощью тест-объекта *D. magna*

Номер пробы	Индекс оцениваемого фактора			Номер пробы	Индекс оцениваемого фактора		
	острая токсичность	движение	питание		острая токсичность	движение	питание
1	0,60	0,70	1,00	17	0,90	1,00	1,25
2	1,00	1,00	1,25	18	0,60	1,00	1,50
3	0,60	1,00	1,50	19	0,40	0,90	1,25
4	1,00	0,90	2,00	20	1,00	1,00	1,00
5	0,30	0,70	0,25	21	0,60	0,90	0,75
6	1,00	1,00	0,25	22	0,70	0,90	1,25
7	0,40	1,00	1,25	23	0,80	1,00	1,25
8	0,30	0,95	1,25	24	0,40	0,85	0,50
9	0,40	1,00	1,75	25	1,00	1,00	0,50
10	1,00	1,00	1,00	26	0,10	0,75	0,75
11	0,50	1,00	1,00	27	0,90	1,00	1,75
12	0,90	0,90	1,50	28	0,90	1,00	0,25
13	0,80	1,00	1,00	29	0,90	1,00	1,25
14	0,20	0,65	1,25	30	0,40	0,60	1,00
15	0,40	0,80	1,50	31	0,90	1,00	1,00
16	0,80	1,00	2,00	контроль	1,00	1,00	1,00

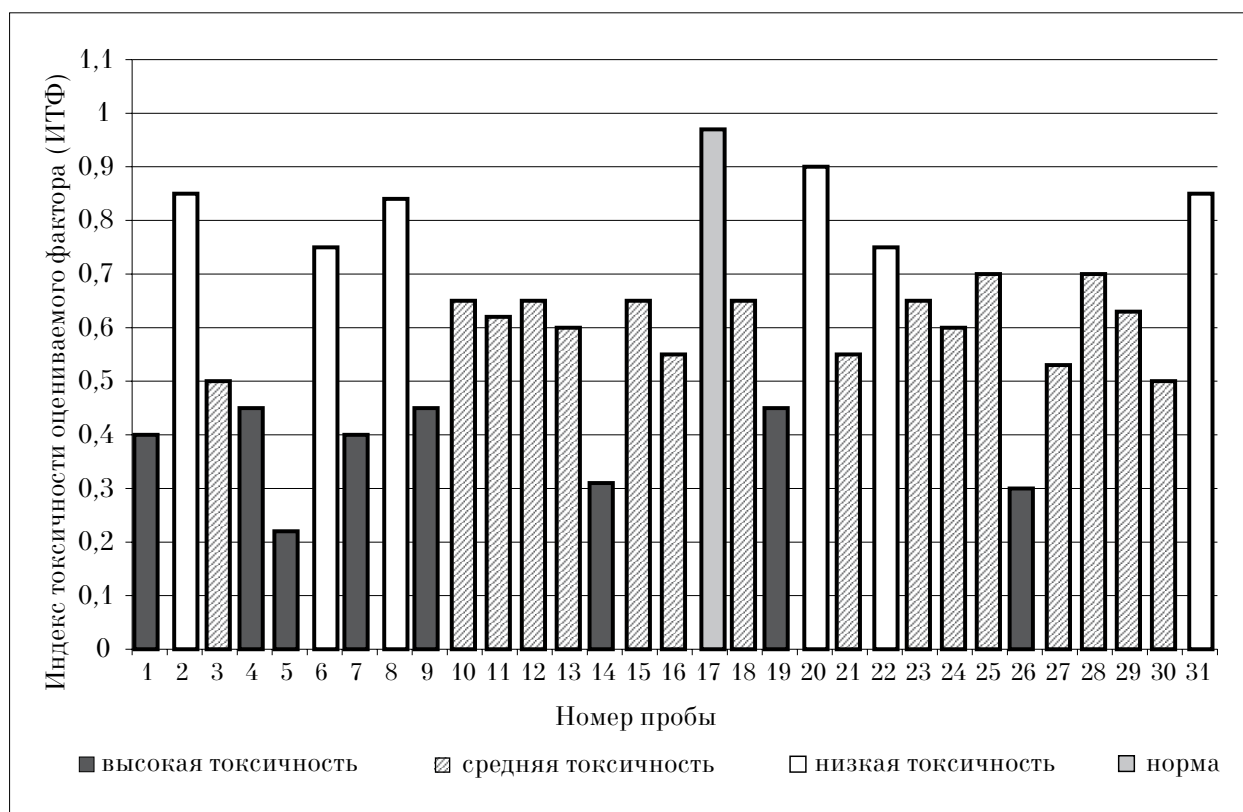


Рис. 2. Распределение исследуемых проб по классам токсичности

Примечание: ИТФ=0 (сверхвысокая токсичность); ИТФ<0,50 (высокая токсичность); ИТФ=0,50–0,70 (средняя токсичность); ИТФ=0,71–0,90 (низкая токсичность); ИТФ=0,91–1,10 (норма); ИТФ>1,10 (стимуляция).

Для получения сопоставимых между собой результатов, полученных с помощью разных методических подходов, нами был рассчитан индекс токсичности почв на основе всех зарегистрированных тест-реакций (рис. 2) [8].

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что к участкам с явной выраженной токсичностью (ИТФ<0,50) относятся пробы почв, отобранные вблизи САЗ и на 4-ом жилучастке, вдоль автомагистралей Фрунзенского и Заводского районов (по ул. Сакко и Ванцетти, ул. Чернышевской и ул. Новоастраханское шоссе). К участкам с низкой токсичностью почв (ИТФ=0,71–0,90) были отнесены пробы, отобранные на газонах Набережной Космонавтов и в районе городского парка, на пересечении улицы Пензенской и проспекта Энтузиастов, улиц Кутякова и Горького. Пробы, отобранные у памятника «Защитникам саратовского неба» на улице Чернышевского, характеризовались по шкале токсичности (ИТФ=0,91) в пределах нормы и были по значению близки к контролю.

Таким образом, применение комплекса биотест-объектов с разной степенью чувствительности к экотоксикантам позволило наиболее полно охарактеризовать степень ток-

сичности почвы г. Саратова и оценить уровень техногенной нагрузки.

Учитывая интегративный характер определенной токсичности, полученные результаты можно использовать для оценки и прогноза экологической ситуации в целом. Мониторинг территорий г. Саратова с токсичной почвой позволит охарактеризовать тенденции и скорость распространения экотоксикантов, установить эффективность проводимых экологических мероприятий и выработать стратегию реабилитации городских территорий.

### Литература

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие / Под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Сарапульцевой. М.: «Академия», 2008. 288 с.
2. Виноходов Д. О., Пожаров А. В. Методологические особенности токсикологических тестов с инфузориями // Известия СПбГЭ-ТУ «ЛЭТИ». Серия «Биотехнические системы в медицине и экологии». 2006. Вып. 3. С. 60–67.
3. Жмур Н.С., Орлова Т.Л. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточ-

ных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водоросли / Федеральный реестр. ФР.1.39.2001.00284. Москва: «Акварос», 2001. 44 с.

4. Григорьев Ю.С. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). Красноярск: КрасГУ, 2004. 19 с.

5. Григорьев Ю.С. Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков, сточных вод и отходов, питьевой, сточной и природной воды по смерт-

ности тест-объекта *Daphnia magna* Straus. Красноярск: КрасГУ, 2006. 46 с.

6. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

7. ГОСТ 12039-82 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения жизнеспособности.

8. Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408–411.

9. Зайцев Т.Н. Математический анализ биологических данных. М.: Наука, 1991. 268 с.