

УДК 631.4; 574.24

***Мониторинг экологического состояния городской почвы промзоны методами биодиагностики***

Бардина Тамара Викторовна, Чугунова Марина Валентиновна, Герасимов Александр Олегович, Бардина Виктория Ивановна  
Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН; [bardinatv@mail.ru](mailto:bardinatv@mail.ru)

*Аннотация:*

Проведены многолетние комплексные исследования экологического состояния почвы и растительного покрова промышленной зоны г. Санкт-Петербурга, подлежащей градостроительному преобразованию. В работе использовались различные методы химического анализа, биотестирования и биоиндикации. Исследования подтвердили, что городские почвы – урбостратоземы – и, в частности, почвы промышленных зон, являются чрезвычайно сложным для изучения объектом, в силу их неоднородности, изменчивости и постоянной подверженности антропогенным воздействиям различного рода. В результате проведенных исследований установлено, что для более корректной оценки экологического состояния почвы наряду с химико-аналитическими методами необходимо применять как элюатное, так и контактное (аппликатное) биотестирование. При элюатном биотестировании наиболее репрезентативен анализ водной вытяжки с использованием простейших – инфузорий. Для контактного способа биотестирования целесообразно использовать в качестве тест-культур почвенные микроорганизмы и высшие растения (пшеница мягкая). Биоиндикационные исследования показали, что состояние древесно-кустарниковой растительности не всегда является определяющим критерием при оценке уровня антропогенной нагрузки. В то же время травянистая растительность, а также общее проективное покрытие исследованного участка промзоны в большей степени коррелируют с токсичностью почвы. Травянистые растения более восприимчивы к изменениям окружающей среды и быстрее реагируют на них. Поэтому данные параметры также необходимо включать в набор показателей, используемых при экологическом мониторинге почв промышленных зон урбоэкосистем.

*Ключевые слова:* урбостратозем, тяжелые металлы, биотестирование, тест-культура, биоиндикация, растительность.

***Monitoring of an ecological condition of the soil in the city's industrial zone by biodiagnosics methods***

Bardina Tamara V., Chugunova Marina V., Gerasimov Alexander O., Bardina Victoria I.

*Saint-Petersburg Scientific Research Centre for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, [bardinatv@mail.ru](mailto:bardinatv@mail.ru)*

***Abstract:***

Multi-year complex researches of an environmental condition of the soil and plant cover in St. Petersburg industrial zone, which is beyond the city-planning transformation, are conducted. The different methods of chemical analysis, biotesting and bioindication were used.

The studies have confirmed that urban soils and industrial soils, in particular, are extremely difficult to study, due to their heterogeneity, variability and constant exposure to anthropogenic influences of various kinds.

Because of the research it has been established that for a more correct assessment of soil's ecological condition it is necessary to apply along with chemical analysis both eluate and contact (applicate) biotesting methods. While elute biotesting the analysis of aqueous extract with using protozoa (infusorias) is most representative. For a contact biotesting it makes most sense to use soil microorganisms and the higher plants (wheat) as test cultures. Bioindication results have showed that the wood and shrubby vegetation condition is not always the determining criterion in assessing the level of anthropogenic load. At the same time, the grassland vegetation and the common projective covering of the explored site are largely associated with the soil toxicity. The grassland vegetation are more susceptible to environmental changes and respond faster to them. Therefore, these indicators must be also included in the parameter set used at the environmental monitoring of the urban industrial zones' soils.

***Keywords:*** *Urban soils, heavy metals, biotesting, test culture, bioindication, vegetation*

## **Введение**

Благодаря своим специфическим свойствам почва во многом определяет условия жизни человека в мегаполисе, выполняя санитарные и рекреационные функции. Санитарно-гигиенические функции почвы очень важны, поскольку она является антисептиком, уничтожая патогенные микроорганизмы и разлагая органические остатки и продукты обмена живых организмов. Антропогенные нарушения почвенного покрова приводят к серьезным изменениям и деградации всего природного комплекса, что, в конечном итоге, создает угрозу здоровью и жизни человека в мегаполисе [8].

Санкт-Петербург является крупным промышленным центром Северо-Западного региона России. В черте города существует несколько промышленных зон, которые подлежат градостроительному преобразованию [10]. В настоящее время преобразование таких проблемных промышленных пространств является

актуальной задачей градостроительной деятельности, так как их наличие ухудшает экологическую обстановку в городе. Подобные объекты нуждаются в рекультивации. Для решения данной задачи необходимо правильно оценить экологическое состояние почвенного покрова таких объектов.

В настоящее время, при несовершенстве санитарно-гигиенических нормативов содержания химических элементов в почвах, назрела необходимость включения в систему экологического мониторинга методов биодиагностики. Эти методы помогают выявить присутствие токсичных веществ в среде, что в первую очередь относится к антропогенно загрязненным почвам, в число которых входят и городские почвы.

При экологической оценке городских почв нужно учитывать данные не только химических анализов, но также биотестирования и биоиндикации, которые предоставляют оперативную информацию о наличии загрязняющих веществ в почве и позволяют дать комплексную оценку действия токсикантов [12, 16].

В связи с вышесказанным очевидно, что поиск информативных показателей экологического состояния городских почв и совершенствование методов интегральной оценки экологического состояния почвы и растительности урбоэкосистем являются одним из актуальных направлений природоохранных исследований.

Целью данной работы являлась экологическая оценка состояния урбостратоземов на мониторинговой площадке в промышленной функциональной зоне города с помощью как новых, так и апробированных методов биодиагностики.

### **Объект и методы исследования**

Исследования комплексного экологического состояния поверхностного горизонта урбик урбостратоземов и растительного покрова проводились в течение трех лет в Санкт-Петербурге на мониторинговой площадке, находящейся в промышленной зоне, подлежащей градостроительному преобразованию. Площадка расположена ниже уровня дороги на ровном, слегка заболоченном месте. Преобладающими элементами растительности являются деревья и травы. Почвы на площадке представлены урбостратоземами – почвами искусственного происхождения, созданными в процессе формирования городской среды, которые существенно отличаются от естественных почв [9]. Эти урбостратоземы испытывают в течение многих лет значительное техногенное воздействие, приводящее к комплексному химическому загрязнению, переуплотнению и, как следствие, к ухудшению их экологического состояния. Главными источниками антропогенного воздействия на почву и растительность исследуемой мониторинговой площадки являлись: железная дорога (расстояние до железнодорожного полотна 20 м), автомобильная дорога с низкой интенсивностью движения (1 м), ТЭЦ (10 м). Помимо этого, на площадке отмечены отходы ТБО (пленка, битый кирпич, щебень и др.). На второй год

наблюдений на мониторинговой площадке были зафиксированы следы передвижений техники, которые значительно изменили растительные условия и вызвали переуплотнение почвы (местами). Таким образом, мониторинговая площадка характеризуется средней степенью антропогенного влияния (по некоторым классификациям – высокой).

Площадь заложенной мониторинговой площадки составила 20 м<sup>2</sup>, согласно нормативным документам (ГОСТ Р 53123-2008), с размерами 4 x 5 м, которые были обусловлены ее положением и рельефом местности. Объединенная проба с площадки готовилась в поле из 20-ти индивидуальных проб, отобранных с горизонтов 0–5 и 5–20 см. Известно, что использование смешанных проб обеспечивает репрезентативность результатов анализа. Отбор образцов почв с мониторинговой площадки осуществлялся в течение трех лет, в середине вегетационного сезона (июль), почвенным буром.

Определение различных показателей в почвенных образцах проводилось по общепринятым методикам: показатель рН почв определялся потенциометрическим способом (ГОСТ 26423-85); электропроводность почвы – при помощи кондуктометра Hanna HI 8733 (ГОСТ 26423-85); определение подвижного (обменного) калия проводилось пламеннофотометрическим методом на фотометре «ПАЖ-3» в вытяжках Кирсанова (ГОСТ 26207-91), а подвижного фосфора – фотоэлектроколориметрически в вытяжках Кирсанова (ГОСТ 26207-91).

В связи с тем, что тяжелые металлы относятся к основным загрязнителям городских почв, в отобранных образцах почв определялось содержание валовых форм тяжелых металлов, относящихся к 1 и 2 классам опасности (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni), атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Квант-АФА» (ПНД Ф 12.1:2:2. 2:2.3.2-03).

При эколого-геохимической индикации загрязнения почв одним из наиболее распространенных показателей загрязнения почв является суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) относительно фонового уровня, предложенный Ю.Е.Саетом (1990). Он рассчитывается по формуле (1):

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1) \quad (1),$$

где  $K_c = C_i / C_{\text{фон}}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го химического элемента;  $C_i$  – фактическое содержание  $i$ -го химического элемента в почве, мг/кг;  $C_{\text{фон}}$  – фоновое содержание  $i$ -го химического элемента в почве, мг/кг;  $n$  – число учитываемых химических элементов с  $K_c > 1$ .

Этот показатель учитывает полиэлементный характер загрязнения территории тяжелыми металлами и используется в методиках при оценке экологического состояния городских почв (СанПиН 2.1.7.1287-03). В нашем случае в качестве фона было взято среднее содержание тяжелых металлов по Ленинградской области.

Ранее было выявлено, что при исследовании городских почв недостаточно тестировать водную вытяжку методами элюатного биотестирования, а требуется применять также методы контактного биотестирования [1]. Поэтому было проведено исследование токсичности водной почвенной вытяжки и непосредственно субстрата (контактные методы биотестирования).

Для комплексной экотоксикологической оценки загрязненной почвы использовались три методики токсикологического анализа, включенные в Федеральный реестр. При биотестировании использовался набор тест-организмов, являющихся представителями продуцентов, консументов и редуцентов (соответственно, гидробионты разной таксономической принадлежности, высшие растения, почвенные микроорганизмы). Контролем служил поверхностный гумусово-аккумулятивный горизонт дерново-подзолистой почвы, по составу аналогичный исследуемой, и отобранный на расстоянии 50 км от источников техногенного загрязнения.

Определение острой токсичности водных вытяжек из загрязненных почв производилось с помощью биотестирования с использованием в качестве тест-организма ракообразных – дафний (*Daphnia magna Straus*) [5] и простейших – инфузорий (*Paramecium caudatum*) [6]. Повторность опыта – трехкратная.

Критерием острой токсичности в опыте на дафниях являлась гибель более 50 % организмов в тестируемых пробах за 96 часов по сравнению с контролем.

Параметры поведенческой реакции инфузорий определялись с помощью прибора «Биотестер-2». Данный метод определения токсичности водной вытяжки основан на способности инфузорий реагировать на присутствие в водной среде веществ, представляющих опасность для их жизнедеятельности, и направленно перемещаться по градиенту концентраций (в направлении изменения концентраций) этих веществ (хемотаксическая реакция), избегая их вредного воздействия. Критерием токсичности служил индекс токсичности (Т), определяемый по формуле (2) и принимающий значения от 0 до 1 в соответствии со степенью токсичности анализируемой пробы.

$$T = I_{cp.k.} - I_{cp.a.} / I_{cp.k.} \quad (2),$$

где  $I_{cp.k.}$ ,  $I_{cp.a.}$  – средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб, соответственно.

Из контактных (апликатных) методов биотестирования нами использовались два: метод лабораторного фитотестирования, который получил широкое распространение в исследованиях [11], и метод определения дыхательной активности микроорганизмов [15].

Для установления степени токсичности загрязненных образцов почв с помощью продуцентов использовали методику, разработанную в научно-исследовательском центре экологической безопасности РАН, где в качестве тест-культуры применяется пшеница мягкая (*Triticum aestivum L.*). Данная методика

позволяет диагностировать уровень токсичности загрязненных почв по степени снижения всхожести семян ( $N_1$ , %) и угнетению корней по сравнению с контрольной пробой ( $N_2$ , %): V – практически не токсичные; IV – малотоксичные; III – умеренно токсичные; II – опасно токсичные; I – высоко опасно токсичные [4].

В качестве тест-культуры редуцентов служил природный комплекс микроорганизмов, содержащийся в исследованной почве. Показателем состояния микробоценоза служила интенсивность выделения почвой углекислого газа (иначе – почвенное дыхание), которая является важнейшим индикатором напряженности деструкционных процессов, осуществляемых в почвах микроорганизмами. Уровень этого показателя определялся в лабораторных условиях адсорбционным способом [15]. Степень токсичности устанавливалась по статистически значимым различиям между уровнем выделения углекислого газа микрофлорой исследованной почвы и контрольного субстрата.

Потенциальные экологические риски устанавливались следующим образом: I – допустимый риск (нет снижения биопродуктивности микробных экосистем), II – низкий риск (снижение биопродуктивности менее 25 %), III – средний риск (снижение 25-50 %), IV – высокий риск (снижение более 50 %) [3].

Растительность, использовавшаяся при биоиндикационных исследованиях в качестве индикатора, можно причислить к регистрирующим биоиндикаторам, которые реагируют на изменение состояния окружающей среды изменением хорошо заметных признаков (цвет листвы и т.п.), что является ответной реакцией на токсичность среды обитания. Растения информативнее других индикаторов тем, что с их помощью можно проводить биоиндикацию всех природных сред [2, 14].

Биоиндикационные исследования состояния растительности на мониторинговой площадке проводились при помощи «Методики оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга» [7]. Данная методика, объединяет в себе методы оценки как древесно-кустарниковой, так и травянистой растительности и не требует определенного минимально возможного количества растений. Согласно ей, жизненное состояние зеленых насаждений оценивалось по 3-бальной шкале: 1 – хорошее состояние; 2 – удовлетворительное; 3 – неудовлетворительное. К обследуемым элементам относились древесные посадки, кустарники, газоны (травянистая растительность) и цветники.

Каждому элементу растительности на площадке давалась экологическая оценка с характеристиками его параметров и категории состояния. Затем вычислялся средний балл жизненного состояния элемента растительности ( $B_c$ ). Этот балл использовался при расчете коэффициента комплексной экологической оценки (ККЭО) площадки, дающего интегральную оценку жизненного состояния всей растительности на площадке. ККЭО складывается из баллов оценки состояния элементов растительности с поправкой на их «вес» в общем балансе растительности на площадке и занимаемую ими площадь. Значимость элементов

растительности определялась по их биопродуктивности. Значения поправочных коэффициентов при расчете ККЭО для каждого элемента следующие: древесной – 1,0; кустарники – 0,4; газоны – 0,2 и цветники – 0,1 [7]. ККЭО рассчитывался по формуле (3):

$$\text{ККЭО} = (\text{Б}_{\text{д}} \times 1 + \text{Б}_{\text{к}} \times 0,4 + \text{Б}_{\text{г}} \times 0,2 + \text{Б}_{\text{ц}} \times 0,1) / \sum \text{ПК}_{\text{д, к, г, ц}} \quad (3)$$

Обследованные на мониторинговой площадке виды растительности (деревья и травы) принадлежали к типичным представителям флоры Санкт-Петербурга – ива ломкая, мать-и-мачеха обыкновенная, клевер луговой, клевер белый, полынь горькая, тысячелистник обыкновенный, ромашка аптечная, иван-чай узколистный, лопух паутинистый, одуванчик лекарственный, подорожник средний, лютик ползучий, вейник наземный, лапчатка гусиная, кислица обыкновенная, чертополох колючий. Кустарники и цветники на площадке отсутствовали.

## Результаты исследования

Результаты химических анализов почвы, отобранной на мониторинговой площадке, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химические свойства почвы площадки

Глубина отбора, см	pH	Удельная электропроводность, ms	K <sub>2</sub> O, мг/100 г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г
1-й год наблюдения				
0-5	7,4	0,43	38,8	30,0
5-20	7,9	0,28	25,5	36,0
2-й год наблюдения				
0-5	7,5	0,63	37,8	38,0
5-20	7,4	0,33	24,5	20,5
3-й год наблюдения				
0-5	8,4	1,04	36,5	39,0
5-20	8,4	0,92	26,7	20,8

Изучение pH выявило, что почвы площадки имеют слабощелочную среду (pH 7,4-8,4) в обоих горизонтах, в целом, типичную для городских почв, характеризующихся нейтральной или же слабощелочной реакцией среды.

Электропроводность почвы является интегральным показателем, который зависит от влажности, гранулометрического и агрегатного состава, химизма почвенного раствора. Электропроводность в почве не превышала величины 1,04 mS, которая считается допустимой.

Антропогенное воздействие может изменять содержание подвижных форм питательных элементов в почвах, которые определяют агрономическое качество почвы. Как видно из приведенных данных, поверхностные слои урбостратозема имели высокое содержание подвижного калия, которое несколько снижалось в

горизонте 5–20 см. Обеспеченность урбостратозема подвижным фосфором была очень высокой (до 39 мг/100 г), что характерно для антропогенно-преобразованных почв.

Приоритетными загрязнителями среди тяжелых металлов на изученной площадке в почвенном слое 0–5 см в порядке убывания являлись следующие металлы: Cd (2,2 ОДК), Cu (1,9 ОДК), Zn (1,3 ОДК), Pb (1,3 ПДК), где ОДК взяты для песчаных и супесчаных почв (ГН 2.1.7.2511-09). В слое 5–20 см тяжелые металлы содержались в меньшем количестве, а содержание Ni и Cd не превышало нормативных показателей. Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) на исследуемой площадке в слое 0–5 см составлял 13,0 единиц, а на глубине 5–20 см – 7,1. Это дает возможность говорить, что исследуемый урбостратозем имеет допустимую степень загрязнения.

Результаты элюатного биотеста на дафниях показали, что на 2-й год на площадке наблюдалась токсичность в горизонте 0–5 см (73,3 % погибших дафний), где весной того же года был складирован строительный мусор (Табл. 2).

Таблица 2 – Результаты биотестирования водной вытяжки из почв (тест-культура – *Daphnia magna* Straus, контроль – аквариумная вода)

Горизонт, см	Количество погибших по отношению к контролю, %	Критерий достоверности, $t_d$	Токсикологическая характеристика пробы
1-й год наблюдения			
0-5	0	0	Не токсичная
5-20	10,0	1,73	Не токсичная
2-й год наблюдения			
0-5	73,3	7,73	Острая токсичность
5-20	0	0	Не токсичная
3-й год наблюдения			
0-5	0	0	Не токсичная
5-20	0	0	Не токсичная

С помощью другого метода элюатного биотестирования (тест-культура – инфузории) токсичность почвы фиксировалась в течение двух лет наблюдения (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты биотестирования почвенной вытяжки на инфузориях  
n=3, P=0,95

Глубина, см	Среднее значение индекса токсичности, T, у.е.	S	Степень токсичности
2-й год наблюдения			
0-5	0,33	0,06	I – допустимая
5-20	0,49	0,06	II – умеренная
3-й год наблюдения			
0-5	0,63	0,06	II – умеренная
5-20	0,63	0,06	II – умеренная

Исследования фитотоксичности почв (тест-культура – пшеница мягкая) свидетельствуют, что в течение двух последних лет наблюдений также



выявлялась умеренная степень фитотоксичности почвы (III) до глубины 20 см (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты фитотестирования почв на проростках высших растений

n=3, P=0,95

Глубина, см	Всхожесть			Корень			Степень токсичности
	%	N <sub>1</sub>	t <sub>d</sub>	Длина, мм	N <sub>2</sub>	t <sub>d</sub>	
1-й год наблюдения							
0-5	85	-15	3,68	50,1	-6,8	1,43	V степень, практически не токсичная
5-20	80	-20	5,0	46,3	-4,7	1,08	V степень, практически не токсичная
2-й год наблюдения							
0-5	95,3	-0,4	1,41	27,9	-11,9	4,20	V степень, практически не токсичная
5-20	75	-21,1	9,80	39,5	-58,5	19,68	III степень, умеренно токсичная
3-й год наблюдения							
0-5	82,5	-13,2	53,17	33,4	-52,0	4,83	III степень, умеренно токсичная
5-20	75	-21,1	13,00	33,8	-51,4	9,33	III степень, умеренно токсичная

Микробиологические исследования, проведенные в первый год наблюдений, не выявили существенных различий между дыхательной активностью исследованной почвы и контрольного образца. Однако в последующие два года активность микробоценоза исследуемой почвы значительно снизилась, по сравнению с контролем, соответственно, на 38 % и 31 % (табл. 5).

Таблица 5 – Интенсивность дыхания верхнего слоя почв (мг CO<sub>2</sub>/100 г сухой почвы, сутки)

n=4, P=0,95, t<sub>st</sub>=2,45

Образец	Сроки наблюдений											
	1-й год				2-й год				3-й год			
	Ср.*	S	t <sub>st</sub>	N	Ср.	S	t <sub>st</sub>	N	Ср.	S	t <sub>st</sub>	N
Контроль	22,0	0	-	-	19,7	1,3	-	-	22,9	2,0	-	-
Почва	20,8	1,2	0,39	-3,3	12,2	0,2	5,73	-38,1	15,8	0,4	3,48	-31,0

Примечание: ср. – среднее арифметическое значение параллельных измерений; S – ошибка среднего арифметического; t<sub>st</sub> – коэффициент Стьюдента; N – степень изменения биологической активности исследуемых шламмов по сравнению с контролем, %.

Одной из причин резкого снижения дыхательной активности микроорганизмов могло стать переуплотнение почвы, возникшее в результате передвижения по ней техники во второй год наблюдений. Известно, что сильное уплотнение ведет к созданию в верхнем почвенном слое микроаэрофильных или даже анаэробных условий [13]. Такое резкое нарушение газообмена в исследованной почве

угнетало жизнедеятельность аэробных микроорганизмов, в результате чего интенсивность выделения углекислого газа снижалась. Кроме того, повышению токсичности почвы промзоны могла способствовать ее более высокая, по сравнению с первым годом исследования, замусоренность, процент которой составлял более 35 %.

Известно, что критический порог устойчивости почвенных систем составляет потерю не более 25–30 % биопотенциала от контрольного уровня [3, 17]. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о значительном нарушении нормального функционирования микроорганизмов данной почвы. Учитывая тот факт, что почвенные микроорганизмы являются основным звеном в круговороте биогенных элементов в биосфере и важнейшим источником почвенного плодородия, можно заключить, что деградация микробоценозов указывает на низкую устойчивость изученной почвенной системы в целом к антропогенному воздействию.

Внешнее вмешательство на территории мониторинговой площадки, повлекшее изменения почвенно-растительных условий, сказалось на количестве произрастающих на ней видов. В первый год наблюдения был отмечен 1 древесный вид и 12 травянистых, во второй – только 2 травянистых и в третий – 8 травянистых. После адаптационного периода, пришедшегося на второй год наблюдений, количество травянистых видов выросло и приближалось к изначальному количеству.

Показательными в биоиндикационном отношении стали изменения баллов состояния каждого элемента растительности и ККЭО за 3 года (табл. 6).

*Таблица 6 – Изменения баллов жизненного состояния элементов растительности и коэффициента комплексной экологической оценки растительности по годам наблюдений*

№	Параметр	1-й год	2-й год	3-й год
1	Бсд	1	-	-
2	Бсг	-	3	2,9
3	ККЭО	1	3	2,9

По результатам биоиндикационных исследований в конце 3-го года наблюдений состояние растительности мониторинговой площадки можно назвать плохим. Элементом растительности, который сильнее прочих подвергался воздействию поллютантов и быстрее реагировал на них, стала травянистая растительность, отражающая изменения почвенных условий. Следовательно, имеет смысл учитывать помимо ККЭО отдельно также и балл состояния травянистой растительности, как наиболее чутко реагирующей на изменения окружающей среды.

Тем не менее, зависимость жизненного состояния растительности в целом (согласно ККЭО), и трав, в частности, от степени антропогенной нагрузки на мониторинговую площадку, оказалась неочевидной. В обоих случаях, при

средней степени антропогенного воздействия было выявлено плохое жизненное состояние как древесно-кустарниковой, так и травянистой растительности.

Сопоставление биоиндикационных данных с результатами токсичности почвенных проб площадки представлено в табл. 7. В ней сравниваются зависимости жизненного состояния всей растительности и отдельно травянистой растительности от токсичности почв – токсичность (по результатам фитотестирования на пшенице) представлена римскими цифрами через косую черту после ККЭО и баллов состояния травянистой растительности (Б<sub>сТ</sub>). Таким же образом сравниваются данные биоиндикационных исследований травянистой растительности и микробиологической активности почв (римские цифры, через косую черту после балла Б<sub>сТ</sub>, означают потенциальные экологические риски для микроорганизмов (см. раздел «объекты и методы»)).

*Таблица 7 – Сравнение жизненного состояния растительности (ККЭО) и травянистой растительности (Б<sub>сТ</sub>) с токсичностью почв и микробиологической активностью почв*

Параметр	1-й год	2-й год	3-й год
Сравнение с токсичностью почв			
Жизненное состояние травянистой растительности (Б <sub>сТ</sub> )	- / V	3 / V	2,9 / III
Жизненное состояние растительности в целом (ККЭО)	1 / V	3 / V	2,9 / III
Сравнение с микробиологической активностью почв			
Жизненное состояние травянистой растительности (Б <sub>сТ</sub> )	- / I	3 / III	2,9 / III

Таблица показывает, что биоиндикационные данные не всегда прямо коррелируют с результатами биотестирования почвы. В первый год наблюдения хорошее состояние растительности соответствовало нетоксичным показателям почв. После изменения условий на площадке растительность оказалась в неудовлетворительном состоянии (наихудший ККЭО), при отсутствии токсичности почвы. На третий год наблюдений уже отмечалось умеренная токсичность почвы, а растительность продолжала оставаться в плохом состоянии (хотя и с некоторыми предпосылками в сторону улучшения).

В то же время наблюдалась взаимосвязь жизненного состояния травянистой растительности и микробиологического состояния почв. Выраженное снижение биопродуктивности микробных экосистем, соответствующее среднему экологическому риску, соответствовало неудовлетворительному состоянию травянистой растительности на площадке в последние годы наблюдений.

## **Заключение**

Проведенные в течение трех лет мониторинговые исследования экологического состояния городской почвы и растительного покрова в промышленной функциональной зоне Санкт-Петербурга выявили значительную антропогенную нагрузку на выбранный объект. Колебания отдельных

показателей токсичности зависели от динамики природных процессов и метеорологических условий, а также были связаны с попаданием строительного и бытового мусора, подтверждая правило, согласно которому городские почвы являются чрезвычайно сложным для исследования объектом.

Апробированный в условиях промышленных зон Санкт-Петербурга набор тест-систем основан на использовании в качестве тест-организмов представителей трех основных звеньев трофической цепи биогеоценозов: продуцентов, консументов и редуцентов, и позволяет фиксировать негативные явления в почвах даже при относительно слабых антропогенных нагрузках.

Наибольшей чувствительностью в определении токсичности урбостратоземов обладает предложенный метод фитотестирования городских почв. Интенсивность дыхания почвенных микроорганизмов также оказалась чувствительным показателем экотоксикологического состояния почвы.

Использование только элюатного биотестирования недостаточно для установления токсичности такой сложной гетерогенной среды, как городская почва. Более корректная оценка экологического состояния загрязненных почв получается при совместном использовании элюатного и контактного биотестирования. При элюатном биотестировании наиболее репрезентативен анализ водной вытяжки с использованием инфузорий. Для контактного способа целесообразно использовать в качестве тест-культур микроорганизмы и высшие растения.

Экотоксикологическая оценка почвы с помощью традиционных и новых методов субстратного биотестирования, показала, что эти методы характеризуются высокой чувствительностью, функциональной простотой, экономичностью, не требуют наличия дорогостоящего и сложного оборудования и позволяют не только определять интегральную токсичность почв, но и следить за динамикой их самоочищения. А использованные биотест-системы позволяют быстро оценить экотоксикологическое состояние антропогенно загрязненной почвы.

Мониторинговые исследования показали, что состояние растительности не всегда является определяющим критерием при оценке уровня антропогенной нагрузки, а также индикатором степени загрязненности почв. Состояние травянистой газонной растительности и общее проективное покрытие травяного покрова в большей степени связаны с токсичностью почвы, чем древесно-кустарниковая растительность. Травянистые растения более восприимчивы к изменениям окружающей среды и быстрее реагируют на них, отражая негативное воздействие.

Случаи улучшения жизненного состояния растительности в Санкт-Петербурге чаще всего являются следствием агротехнических работ, проводимых садово-парковыми предприятиями. В остальных случаях состояние растительности остается на текущем уровне, либо медленно ухудшается.

Таким образом, на основании проведенных комплексных исследований разработаны важные критерии оценки экологического состояния почв и

растительности промышленных функциональных зон города для включения их в перечень набора показателей, используемых при почвенно-растительном мониторинге урбоэкосистем.

### Список литературы

1. Бардина, Т. В., Чугунова, М. В., Капелькина, Л. П., Бардина, В. И. Биологическая оценка токсичности городских почв в почвенно-экологическом мониторинге // Экология урбанизированных территорий. 2014. №2. – с. 87-91.
2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для студ. высш. учеб. Заведений / О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, Т. И. Евсеева и др.; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Сарапульцевой. – 2-е изд. – М.: «Академия», 2008. – 288 с.
3. Кречетов, П. П., Алябина, И. О. Оценка потенциального экологического риска техногенного воздействия на экосистемы // Природопользование в районах со сложной экологической ситуацией. Мат-лы межвуз. науч. Конф., Тюмень, 18-19 марта 1999 г. - Тюмень, 1999. – с. 24-27.
4. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв». ФР 1.39.2006.02264. СПб, 2009.
5. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР. 1.39.2007. 03222. Москва: Акварос, 2007. – 51 с.
6. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер» ПНД ФТ. 16.2:2.2-98. Издание 2010 г.
7. Методика оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. Санкт-Петербург, 2007. – 10 с.
8. Никифорова, Е. М., Лазукова, Г. Г. Экогеохимия городских ландшафтов. МГУ. М., 1995. – С. 95-97.
9. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение, 2014, № 10. – С.1155-1164
10. Промышленные зоны Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Современное состояние и перспективы. Peterland. 2011. – 350 с.
11. Терехова, В. А., Воронина, Л. П., Николаева, О. В., Бардина, Т. В., Калмыцкая, О. А., Кирюшина, А. П., Учанов, П. В., Креславский, В. Д., Васильева, Г. К. Применение фитотестирования для решения задач

экологического почвоведения // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2016. №3. - С.37-41.

12. Терехова, В. А., Пухальчик, М. А., Яковлев, А. С. «Триадный» подход к экологической оценке городских почв // Почвоведение. 2014. №9. - С. 1145-1152.

13. Юркова, Н. Е., Смагин, А. В. Сравнение физико-химических свойств почв Московского зоопарка и городских // АГРО-XXI, 2008, №7-9. - С. 49-49.

14. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. – Изд. 4-е. – М.: «Альма-Матер», 2008. – 416 с.

15. Alef, K., Nannipieri, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, Harcourt Brace & Company, London, UK, 1995. - 576 p.

16. Semenzin, E., Critto, A., Rutgers, M., Marcomini, A. Integration of bioavailability, ecology and ecotoxicology by three lines of evidence into ecological risk indexes for contaminated soil assessment // Sci. Total Environ. 2008. № 389. P.71-86

17. Yakovlev, A. S., Evdokimova, M. V. Ecological standardization of soil and soil Quality control // Eurasian Soil Science Vol. 44, N 5, 2011. - P. 534-546.

### **Spisok literatury**

1. Bardina, T. V., Chugunova, M. V., Kapel'kina, L. P., Bardina, V. I. Biologicheskaja ocenka toksichnosti gorodskih pochv v pochvenno-jekologicheskom monitoringe // Jekologija urbanizirovannyh territorij. 2014. №2. – С. 87-91.

2. Biologicheskij kontrol' okruzhajushhej sredy: bioindikacija i biotestirovanie: uchebnoe posobie dlja stud. vyssh. ucheb. Zavedenij / O. P. Melehova, E. I. Sarapul'ceva, T. I. Evseeva i dr.; pod red. O. P. Melehovoj i E. I. Sarapul'cevoj. – 2-e izd. – М.: «Академия», 2008. – 288 с.

3. Krechetov, P. P., Aljabina, I. O. Ocenka potencial'nogo jekologicheskogo riska tehnogenного vozdejstvija na jekosistemy // Prirodopol'zovanie v rajonah so slozhnoj jekologicheskoj situaciej. Mat-ly mezhvuz. nauch. Konf., Tjumen', 18-19 marta 1999 g. - Tjumen', 1999. – С. 24-27.

4. Metodika vypolnenija izmerenij vshozhesti semjan i dliny kornej prorostkov vysshih rastenij dlja opredelenija toksichnosti tehnogenno-zagrjaznennyh pochv». FR 1.39.2006.02264. SPb, 2009. -17с.

5. Metodika opredelenija toksichnosti vody i vodnyh vytjazhek iz pochv, osadkov stochnyh vod, othodov po smertnosti i izmeneniju plodovitosti dafnij. FR. 1.39.2007. 03222. Moskva: Akvaros, 2007. – 51 s.

6. Metodika opredelenija toksichnosti prob pochv, donnyh otlozhenij i osadkov stochnyh vod jekspress-metodom s primeneniem pribora «Biotester» PND FT. 16.2:2.2-98. Izdanie 2010 g.

7. Metodika ocenki jekologicheskogo sostojanija zelenyh nasazhdenij obshhego pol'zovanija Sankt-Peterburga. Komitet po prirodopol'zovaniju, ohrane okruzhajushhej sredy i obespecheniju jekologicheskoj bezopasnosti. Sankt-Peterburg, 2007. – 10 s.

8. Nikiforova, E. M., Lazukova, G. G. Jekogeohimija gorodskih landshaftov. MGU. M., 1995. – S. 95-97.
9. Promyshlennye zony Sankt-Peterburga i Leningradskoj oblasti. Sovremennoe sostojanie i perspektivy. Peterland. 2011. - 350 s.
10. Terehova, V. A., Voronina, L. P., Nikolaeva, O. V., Bardina, T. V., Kalmyckaja, O. A., Kirjushina, A. P., Uchanov, P. V., Kreslavskij, V. D., Vasil'eva, G. K. Primenenie fitotestirovanija dlja reshenija zadach jekologicheskogo pochvovedenija // Bjulleten' «Ispol'zovanie i ohrana prirodnyh resursov v Rossii». 2016. №3. - S.37-41.
11. Terehova, V. A., Puhal'chik, M. A., Jakovlev, A. S. «Triadnyj» podhod k jekologicheskoy ocenke gorodskih pochv // Pochvovedenie. 2014. №9. - S. 1145-1152.
12. Jurkova, N. E., Smagin, A. V. Sravnenie fiziko-himicheskikh svojstv pochv Moskovskogo zooparka i gorodskih // AGRO-HHI, 2008, №7-9. - S. 49-49.
13. Jekologicheskij monitoring: uchebno-metodicheskoe posobie / pod red. T. Ja. Ashihminoj. – Izd. 4-e. – M.: «Al'ma-Mater», 2008. – 416 s.
14. Alef, K., Nannipieri, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, Harcourt Brace & Company, London, UK, 1995. - 576 p.
15. Semenzin, E., Critto, A., Rutgers M., Marcomini A. Integration of bioavailability, ecology and ecotoxicology by three lines of evidence into ecological risk indexes for contaminated soil assessment // Sci. Total Environ. 2008. № 389. - P.71-86
16. Yakovlev, A. S., Evdokimova, M. V. Ecological standardization of soil and soil Quality control // Eurasian Soil Science Vol. 44, N 5, 2011. - P. 534-546.