

**Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов
методом биотестирования**

- щее // Вопросы степеведения. – Оренбург, 2000. – С. 70-81.
2. Викторов С.В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. – М.: Недра, 1966. – 120 с.
3. Викторов С.В., Востокова Е.А. Основы индикационной геоботаники. – М.: Изд-во Госгеолтехиздат, 1961. – 86 с.
4. Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д. Введение в индикационную геоботанику. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1962. – 227 с.
5. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация. – М.: Наука, 1985. – 96 с.
6. Григорьевская А.Я. Флора города Воронежа. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2000. – 200 с.
7. Григорьевская А.Я. Экобиоиндикационная оценка урбанизированных экосистем г. Воронежа по биотическому компоненту // Экол. вестн. Черноземья. – 1999. – Вып. 7. – С. 98-107.
8. Григорьевская А.Я., Прохоров Д.В., Прохорова О.В. Луговые, “сниженно-альпийские” и пустынно-степные урбанوفитоценозы города Воронежа // Лесные экосистемы зеленой зоны города Воронежа. – Воронеж, 1999. – С. 131-135.
9. Григорьевская А.Я., Хрипякова В.Я., Быковская О.П. Современное состояние растительности геокомплексов г. Воронежа и ее эколого-индикационные свойства // Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. – Воронеж, 1996. – С. 223-226.
10. Кривоуцкий Д.А., Степанов А.М. Экологическое нормирование на примере радиоактивного и химического загрязнения экосистем // Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. – М., 1988. – С. 4-6.
11. Ландшафтная индикация для рационального использования природных ресурсов. – М.: МФГО СССР, 1988. – 179 с.
12. Ландшафтная индикация и ее использование в народном хозяйстве. – М.: МФГО СССР, 1981. – 191 с.
13. Современное ландшафтно-экологическое состояние правобережья г. Воронежа / В.Б. Михно, В.Я. Хрипякова, А.В. Бережной, К.А. Дроздов // Теоретические и прикладные аспекты оптимизации и рациональной организации ландшафтов. – Воронеж, 2001. – С. 118-121.
14. Почва, город, экология / Под ред. Г.В. Добровольского. – М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. – 320 с.
15. Карта охраны природы Воронежской области (экологический аспект) / В.И. Федотов, Г.К. Чеснокова, В.С. Чесноков и др. – Саратов: РосНИИЗемпроект, 1991. – 16 с.
16. Хрипякова В.Я. Микроклимат большого города // Экол. вестн. Черноземья. – 1999. – Вып. 7. – С. 81-98.
17. Хрипякова В.Я. Характеристика функциональных зон территории города Воронежа // Теоретические и прикладные аспекты оптимизации и рациональной организации ландшафтов. – Воронеж, 2001а. – С. 188-191.
18. Хрипякова В.Я. Характеристика почв города Воронежа, их современное состояние // Вестн. Воронежск. отд. Рус. геогр. о-ва. – Воронеж, 2001б. – Т.3, вып. 2. – С. 8-15.
19. Хрипякова В.Я., Дроздов К.А. Особенности структуры и функционирования геокомплексов территории г. Воронежа // Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. – Воронеж, 1996. – С. 60-63.

УДК 631.415.1:504.054(470.324)

Е.В. Шунелько, А.И. Федорова

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРОДСКИХ ПОЧВ И
ВЫЯВЛЕНИЕ УРОВНЯ ТОКСИЧНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ**

Одним из наиболее информативных индикационных признаков, характеризующих глубокие функциональные нарушения городских почв, является загрязнение их тяжелыми металлами, поступающими в окружающую среду вблизи автомобильных дорог в результате сжигания топлива, истирания механических частей транспортных средств и дорожного по-

лотна, а также применения противогололедных смесей.

Большая часть тяжелых металлов закрепляется в почвенно-поглощающем комплексе в верхней части профиля урбаноземов. Этому способствует преимущественно нейтральная и слабощелочная реакция почв г. Воронежа (рН=6,5-7,4) и содержание в них гумуса (от 1,4

до 9,6%) [5,6]. Таким образом, накапливая в поверхностных слоях тяжелые металлы, почва с одной стороны препятствует загрязнению грунтовых вод, с другой - является постоянным источником поступления поллютантов в атмосферу и растения. Первый период полураспада при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции довольно велик и составляет: для Zn - от 70 до 510 лет; для Cd - от 13 до 110 лет; для Cu - от 310 до 1500 лет; для Pb - от 740 до 5900 лет [2].

Среди основных тяжелых металлов, обнаруживаемых вдоль транспортных магистралей в значительных количествах, большинство исследователей выделяют Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, и Co.

Загрязнение тяжелыми металлами почв придорожных пространств вызывает угнетение и гибель древесной и травянистой растительности, что в свою очередь приводит к обнажению почвенного покрова. В результате значительное количество токсичных поллютантов поднимается воздушными потоками и переносится на большие расстояния, попадая при этом через дыхательные пути в организм человека. С поверхностным и внутрипочвенным стоком данные элементы проникают в питьевые водозаборы. Источником отравления детского населения могут служить также поступление тяжелых металлов в пищеварительный тракт через загрязненные руки.

Таким образом, одной из наиболее важных характеристик тяжелых металлов с точки зрения их влияния на живые организмы является токсичность, то есть способность оказывать вредное воздействие на микроорганизмы, растения, животных, человека.

По степени токсичности поллютанты подразделяются на группы:

1) очень токсичные - оказывают вредное воздействие на тест-организмы при концентрации в растворе менее $1 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$: Ag^+ , Be^{2+} , Hg^{2+} , Sn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , CrO_4^{2-} ;

2) умеренно токсичные - оказывают ингибирующее воздействие при концентрациях $1-100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$: As, Se, Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn,

арсенаты, бораты, броматы, хлораты, перманганаты, молибдаты, антимонаты, селенаты;

3) слаботоксичные - редко оказывают ингибирующее воздействие при концентрациях значительно выше $100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , хлориды, бромиды, иодиды, нитраты, сульфаты.

Многие тяжелые металлы ингибируют активность ферментов, образуют комплексные органические соединения, способные проникать через клеточные мембраны, дают соединения с сульфатами, фосфатами, хелатообразные комплексы с обычными метаболитами, препятствуя обмену веществ, усиливают деградацию метаболитов, например АТФ [3].

Для оценки токсичности городских почв, содержащих в повышенных количествах все перечисленные металлы, а также многие другие загрязняющие вещества, были проведены ряд опытов по биотестированию методом проростков тест-растений [4]. Средняя проба отобранных с глубины 0-10 см образцов урбанизированных почв (всего 45 проб) в трехкратной повторности помещались в пластмассовые стаканчики объемом 150 см^3 , в которые высаживались предварительно пророщенные, одинаковые по размеру, семена пшеницы, овса и кресс-салата (по 10 штук в каждый стаканчик). Таким образом, в каждом варианте было задействовано по 20-30 растений, что обеспечило статистическую обработку полученных результатов. В качестве основных объектов исследования были выбраны почвы с разным содержанием гумуса (от 1,3 до 9,6%), а также почвы с превышением ПДК по свинцу в 3-8 раз (по данным ЦГСЭН). Контролем служили не вовлеченные в сельскохозяйственное использование черноземы (вне влияния автотранспорта) с загородных территорий, примыкающих к нагорной дубраве с одной стороны и Воронежскому биосферному заповеднику с другой (с. Тресвяцкое). В течение последующих 14 дней стаканчики с субстратом поливали равным количеством отстояной водопроводной воды. Часть заболевших, карликовых (или проявивших гигантизм) растений удалялось. Достигшие 15-

**Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов
методом биотестирования**

20 см проростки осторожно освобождались от земли, промывались, высушивались фильтровальной бумагой, после чего проводилось взвешивание и измерение длины отдельно надземной части и корней растения. Результаты измерений показали следующее.

1. Токсичность городских почв, обусловленная наличием в них разного рода загрязняющих веществ, проявилась в ингибировании роста надземной части тест-растений (таблицы 1-4).

Наиболее показательными в этом плане оказались проростки пшеницы, рост которых в двухнедельном возрасте уменьшился по сравнению с контролем на 7-16%. Больше всего проростков в угнетенном состоянии отмечалось на почвах с повышенным содержанием Pb (таблица 2).

Ингибирование надземной части наблюдалось в этом опыте в 41% случаев. В опыте с параллельным определением гумуса и в придорожных частях скверов ингибирование на-

Т а б л и ц а 1
Результаты биотестирования городских почв с известным содержанием гумуса методом проростков пшеницы и овса

Точки отбора проб	Содержание гумуса, %	Стебли пшеницы		Корни пшеницы		Стебли овса		Корни овса	
		Сред. длина, см	Ср. вес, г	Сред. длина, см	Ср.	Сред. длина, см	Ср. вес, г	Сред. длина, см	Ср.
с.Тресвяцкое (контроль)	7,33	19,2±0,5	0,18	13,8±0,4	0,12	18,1±0,7	0,21	8,9±0,5	0,06
Дубрава у с.Чертовичское	11,80	20,1±0,4	0,19	14,1±0,7	0,12	20,6±0,5	0,23	9,4±0,5	0,06
Яблоневый сад (с.Чертовичское)	4,72	18,8±0,4	0,17	18,9±0,7 *	0,12	17,4±0,7	0,19	11,8±0,6 *	0,06
ул.Б.Стрелецкая (набережная)	1,34	16,3±0,4 *	0,17	18,3±0,7 *	0,11	19,2±0,5	0,24	11,8±1,0	0,07
ТЭЦ-1 (сквер)	1,91	15,6±0,8 *	0,14	14,6±0,9	0,10	16,0±0,7	0,17	9,1±0,4	0,06
Набережная и ул.Грамши	3,33	16,0±1,6	0,16	17,2±1,1	0,11	16,4±0,3	0,21	8,7±0,4	0,08
Сквер на Ленинском пр-те	3,64	19,0±1,0	0,21	17,7±0,5 *	0,12	21,3±0,6 *	0,26	11,4±0,4 *	0,09
ул.Ростовская (Шинный з-д)	3,76	18,4±0,5	0,18	15,6±0,7	0,10	19,4±0,6	0,22	12,8±0,7 *	0,06
ул.Студенческая (Детский парк)	3,90	19,5±0,8	0,18	19,2±0,6 *	0,10	19,3±0,7	0,22	16,2±1,1 *	0,07
ул.Ленинградская	4,57	15,1±0,6 *	0,15	15,7±0,9	0,10	18,5±0,6	0,19	9,7±0,5	0,06
ул.Молодогвардейцев	4,69	17,4±0,4	0,17	18,9±0,9 *	0,13	17,7±0,4	0,20	11,8±0,7 *	0,07
Парк "Живые и мертвые"	4,76	18,7±0,5	0,19	19,5±0,7 *	0,12	18,9±1,3	0,22	11,9±0,8 *	0,08
пр-т Патриотов	4,81	18,9±0,6	0,16	22,1±0,7 *	0,11	17,9±0,5	0,20	9,9±0,6	0,07
ул.Плехановская, Политехн.пер.	5,00	16,0±0,4 *	0,15	19,2±0,9 *	0,09	19,1±0,7	0,21	12,6±0,7 *	0,09
Первомайский сквер	5,07	17,9±0,4	0,21	16,2±0,7	0,12	19,0±0,7	0,22	12,4±0,8 *	0,07
ул.Чапаева	5,09	18,7±0,4	0,17	18,7±0,6 *	0,11	19,8±0,8	0,24	14,5±0,6 *	0,09
Завод ГОО	5,24	18,3±0,6	0,15	17,1±1,0	0,10	18,8±0,7	0,22	10,3±0,6	0,09
ул.К.Маркса (сквер)	5,43	20,0±0,6	0,18	19,8±0,9 *	0,13	20,7±0,6	0,25	11,9±0,5 *	0,07
ул.Чапаева, ул.Краснознамен.	5,47	19,4±0,3	0,16	17,6±0,5 *	0,10	17,8±0,6	0,20	12,6±0,9 *	0,06
Ленинский пр-т	5,65	18,7±0,4	0,16	20,4±0,5 *	0,13	18,7±0,5	0,21	13,6±0,4 *	0,08
ул.Володарского	6,17	19,0±1,0	0,23	18,0±0,8 *	0,12	19,4±0,5	0,23	11,0±0,6	0,06
ул.О.Дундича (лесопарк)	6,29	18,2±0,6	0,14	20,1±0,8	0,12	16,6±0,7	0,18	10,0±0,5	0,06
ул.45 Стр.див., Московский пр.	8,57	16,4±0,5 *	0,15	18,8±0,7 *	0,12	16,3±0,6	0,20	11,7±0,7 *	0,07
Юго-западный отстойник з-да СК	9,57	20,1±0,3	0,19	14,1±0,7	0,12	17,5±0,5	0,18	11,1±0,7 *	0,06

* – достоверное различие с контролем

Т а б л и ц а 2

Результаты биотестирования городских почв с повышенным содержанием свинца методом проростков пшеницы и овса

Точки отбора проб	Стебли пшеницы		Корни пшеницы		Стебли овса		Корни овса	
	Сред. дли-на, см	Ср. вес, г	Сред. дли-на, см	Ср.	Сред. дли-на, см	Ср. вес, г	Сред. дли-на, см	Ср.
с.Тресвяцкое (контроль)	22,9±0,6	0,16	16,0±0,8	0,07	17,9±0,4	0,19	13,1±0,4	0,04
ул.Ломоносова	20,6±0,5	0,21	24,4±1,1 *	0,11	18,3±0,3	0,18	14,3±0,5	0,05
ул.Березовая роща	21,6±0,6	0,19	20,5±0,7 *	0,10	19,1±0,4	0,17	15,4±0,6 *	0,06
ул.С.Разина, ул.Манежная	20,6±0,5	0,22	23,1±1,1 *	0,09	18,9±0,4	0,17	17,5±0,6 *	0,06
ул.Желябова	22,0±0,7	0,23	21,4±0,9 *	0,13	16,4±0,6	0,17	13,5±0,6	0,06
ул.Ф.Энгельса	21,1±0,7	0,22	22,8±0,9 *	0,13	17,6±0,4	0,21	18,2±0,6 *	0,08
ул.К.Маркса	21,8±0,5	0,25	18,4±0,8	0,10	18,1±0,3	0,17	15,1±0,6 *	0,05
ул.Пирогова	21,4±0,5	0,21	23,2±0,9 *	0,09	17,8±0,5	0,16	14,1±0,6	0,05
ул.Пирогова, ул.Космонавтов	21,4±0,2	0,20	24,4±0,7 *	0,14	16,4±0,5	0,14	16,6±0,8 *	0,05
ул.Электросигнальная	23,2±0,5	0,25	18,2±0,6	0,09	18,5±0,4	0,21	15,6±0,7 *	0,05
ул.Бунина	21,9±0,4	0,23	20,0±0,6 *	0,11	18,5±0,5	0,24	17,0±0,6 *	0,07
пр.Революции	19,7±0,5 *	0,18	24,2±0,7 *	0,15	17,0±0,3	0,17	17,9±0,5 *	0,07
ул.Ворошилова	19,4±0,8 *	0,21	18,8±1,2	0,15	17,3±0,3	0,10	17,6±0,6 *	0,06
ул.Грамши, ул.Чапаева	19,1±0,4 *	0,22	22,4±0,9 *	0,12	17,9±0,3	0,21	15,7±0,6 *	0,06
ул.Копыцовская	19,6±0,6 *	0,20	21,0±1,0 *	0,13	16,0±0,3	0,18	14,3±0,7	0,07
Московский пр.	19,7±0,6 *	0,17	23,1±0,9 *	0,14	14,8±0,3	0,11	19,7±0,5 *	0,06
Ленинский пр. з-д СК	19,9±0,4 *	0,20	23,3±0,9 *	0,12	15,5±0,5 *	0,16	18,6±1,0 *	0,08
Задонское шоссе (АЗС)	19,2±0,5 *	0,16	20,2±0,8 *	0,12	12,2±0,3 *	0,13	13,5±0,8	0,06

блюдалось в 24 и 13% случаев (таблицы 1, 3). Проростки овса оказались более устойчивыми к загрязнению почвы. Лишь в нескольких точках с повышенным содержанием Pb и вблизи автодорог наблюдалось ингибирование надземной части растений на 10-21%. В остальных случаях длина проростков достоверно не отличалась от контрольной.

Повышенное содержание Pb не является лимитирующим фактором для роста кресс-салата. Так, в 67% случаев произошло достоверное увеличение длины проростков по сравнению с контролем в среднем на 20% (таблица 4).

2. У всех изученных растений, выращенных на городских урбаногемах, происходило стимулирование роста корневой системы. В

среднем у 63% проростков пшеницы и овса, выращенных на субстратах, отобранных в разных точках города, наблюдалось достоверное увеличение длины корневой системы на 25-30% по сравнению с контролем. На почвах с повышенным содержанием свинца стимулирование корневой системы растений отмечалось в 80% случаев у пшеницы (на 29%), в 70% случаев у овса (на 23%) и в 80% случаев у кресс-салата (на 57%) (таблицы 2, 4).

Полученные нами данные согласуются с данными В.Б. Ильина и М.Д. Степановой [1], которые получили схожие результаты в опыте с пшеницей (токсикант Pb). У них же мы находим ссылку на аналогичные результаты исследований Ф. Аустенфельда в опытах с фасолью (токсиканты Ni и Co). Отмеченное усиленное

* – достоверное различие с контролем

Т а б л и ц а 3

Результаты биотестирования почв городских скверов методом проростков тест-растений

Точки отбора проб	Стебли		Корни	
	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г
Пшеница				
с.Тресвяцкое (контроль)	19,8±0,3	0,18	14,1±0,5	0,06
Сквер без кустарника (ул.Пушкинская)	18,5±0,2 *	0,15	19,4±0,4 *	0,08
Сквер без кустарника (центр)	19,5±0,3	0,16	17,9±0,4 *	0,08
Сквер без кустарника (ул.Кирова)	18,5±0,4	0,17	17,2±0,5 *	0,08
Бульвар по ул.Кольцовской (за кустарником)	18,3±0,4	0,15	20,8±0,4 *	0,09
Бульвар по ул.Кольцовской (центр)	19,2±0,4	0,16	17,8±0,7*	0,09
Кольцовский сквер (за кустарником)	18,3±0,6	0,15	15,2±0,7	0,02
Кольцовский сквер (центр)	18,0±0,7	0,15	14,8±0,9	0,09
Овес				
с.Тресвяцкое (контроль)	17,2±0,3	0,14	13,3±0,4	0,04
Сквер без кустарника (ул.Пушкинская)	16,5±0,3	0,13	14,8±0,5	0,04
Сквер без кустарника (центр)	16,8±0,3	0,10	14,3±0,4	0,04
Сквер без кустарника (ул.Кирова)	17,7±0,3	0,15	17,0±0,6 *	0,04
Бульвар по ул.Кольцовской (за кустарником)	15,5±0,3 *	0,12	15,6±0,5 *	0,05
Бульвар по ул.Кольцовской (центр)	17,0±0,3	0,15	17,6±0,6 *	0,05
Кольцовский сквер (за кустарником)	17,0±0,3	0,15	16,7±0,5 *	0,05
Кольцовский сквер (центр)	18,0±0,3	0,16	17,1±0,5 *	0,04
Кресс-салат				
с.Тресвяцкое (контроль)	5,9±0,2	0,08	4,0±0,4	0,002
Сквер без кустарника (ул.Пушкинская)	7,4±0,1 *	0,09	9,4±0,8 *	0,005
Сквер без кустарника (центр)	7,6±0,1 *	0,09	3,9±0,2	0,002
Сквер без кустарника (ул.Кирова)	7,6±0,2 *	0,09	7,4±0,7 *	0,003
Бульвар по ул.Кольцовской (за кустарником)	6,9±0,2 *	0,07	8,7±0,5 *	0,008
Бульвар по ул.Кольцовской (центр)	7,3±0,2 *	0,08	7,1±1,1	0,008
Кольцовский сквер (за кустарником)	7,1±0,9	0,07	11,1±1,3 *	0,007
Кольцовский сквер (центр)	8,1±0,2 *	0,09	8,0±0,7 *	0,006

формирование корневой системы в условиях загрязнения происходит, по мнению авторов, за счет сокращения биомассы надземных органов и рассматривается как вынужденная потребность организма усилить емкость корней и сохранить в надземной части растения нетоксичные концентрации загрязняющих веществ.

3. Проведенный корреляционный анализ показал наличие средней связи между содержанием гумуса в почве и длиной надземной части проростков пшеницы ($r=0,5$), тогда как для проростков овса такой связи не отмечалось, а для корней обоих растений связь была отрицательной.

* – достоверное различие с контролем

4. Статистическая обработка показала среднее варьирование изученных признаков, лишь для корней кресс-салата варьирование признака было высоким. Точность опыта, с которой проводились измерения, по данным статобработки является высокой и удовлетворительной. Исключение составляют корни кресс-салата, у которых значительное варьирование признака привело к снижению точности опыта.

Исходя из полученных данных, наиболее перспективными для биоиндикационных исследований городских почв являются проростки пшеницы, у которых под действием тяжелых металлов и других загрязняющих почву веществ значительно угнетался рост надземной части растений, что может служить био-

индикационным признаком для определения общей токсичности урбаноземов.

Другой задачей данного исследования было выявить токсичные концентрации тяжелых металлов, способные оказывать достоверное воздействие на растения. Для этого проростки выращивались на песчаном субстрате и поливались растворами солей различных тяжелых металлов. Выбор песчаной почвы в качестве среды, на которой отрабатывается токсичность тяжелых металлов, обусловлен очень низкой способностью ее поглощать ионы из почвенного раствора, небольшой буферностью и хорошей дренированностью (водопроницаемостью). Следовательно, загрязнение таких почв металлами создает весьма благоприятные

Т а б л и ц а 4

Результаты биотестирования городских почв с повышенным содержанием свинца методом проростков кресс-салата

Точки отбора проб	Стебли кресс-салата		Корни кресс-салата	
	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г
с.Тресвяцкое (контроль)	5,9±0,2	0,08	4,0±0,4	0,002
ул.Ломоносова	7,0±0,2 *	0,09	6,9±0,8 *	0,005
ул.Березовая роща	6,8±0,2 *	0,07	7,2±0,6 *	0,006
ул.С.Разина, ул.Манежная	7,4±0,2 *	0,09	10,3±1,2 *	0,008
ул.Желябова	7,4±0,2 *	0,07	5,6±0,6	0,004
ул.Ф.Энгельса	7,3±0,2 *	0,09	9,1±1,3 *	0,008
ул.К.Маркса	7,0±0,6	0,09	3,9±0,3	0,002
ул.Пирогова	6,2±0,1	0,06	7,5±0,7 *	0,005
ул.Пирогова, ул.Космонавтов	7,8±0,2 *	0,08	9,0±1,2 *	0,006
ул.Электросигнальная	5,9±0,2	0,07	5,4±0,7	0,004
ул.Бунина	6,9±0,2 *	0,07	10,4±1,5 *	0,007
пр.Революции	5,7±0,2	0,06	16,3±0,9 *	0,009
ул.Ворошилова	6,8±0,3	0,09	7,7±0,9 *	0,005
ул.Грамши, ул.Чапаева	7,5±0,2 *	0,09	8,9±1,2 *	0,003
ул.Кольцовская	7,7±0,1 *	0,09	6,8±0,8 *	0,005
Московский пр.	4,8±0,1 *	0,03	12,5±1,5 *	0,010
Ленинский пр. з-д СК	7,9±0,4 *	0,09	10,3±0,7 *	0,007
Задонское шоссе (АЗС)	6,0±0,1	0,06	7,4±0,7 *	0,005

* – достоверное различие с контролем

**Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов
методом биотестирования**

условия для поступления их в корневые системы растений.

В качестве тест-растений использовались проростки пшеницы, овса, кресс-салата и редиса с белым кончиком. Опыт проводился по аналогии с предыдущим, то есть одинаковые по размеру проростки тест-растений высаживались в стаканчики объемом 150 см³ с промытым и прокаленным речным песком в двукратной повторности. В данном случае проростки поливались растворами солей различных концентраций тяжелых металлов (Pb(NO₃)₂, Cd(CH₃COO)₂, ZnSO₄, CuSO₄, NiSO₄) в дистиллированной воде. Исследуемые концентрации подбирались таким образом, чтобы они были сопоставимы с количеством тяжелых метал-

лов, обнаруживаемом в почвах г. Воронежа (по собственным данным и данным ЦГСЭН). Контрольные образцы поливались тем же количеством воды.

На основе полученных данных (таблицы 5-9) можно сделать следующий вывод: исследуемые растения довольно устойчивы к повышенным концентрациям свинца в почве; концентрации Pb (кратные ПДК) от 32 мг/кг (ПДК в почве) до 224 мг/кг (7 ПДК) не привели к достоверным изменениям в росте проростков пшеница и редиса (таблица 5).

При концентрациях Pb в почве 128, 160 и 192 мг/кг (4-6 ПДК) происходило достоверное стимулирование роста надземной части овса по сравнению с контролем.

Т а б л и ц а 5

Оценка токсичности растворов Pb методом проростков тест-растений на песчаном субстрате

Концентрация Pb, мг/кг	Стебли		Корни		Стебли		Корни	
	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред.	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г
	Пшеница				Овес			
Контроль	17,5±0,6	0,11	15,6±0,8	0,12	15,2±0,6	0,10	14,6±0,5	0,07
32 мг/кг	17,8±0,6	0,11	17,4±0,7	0,10	16,2±0,6	0,11	14,8±0,8	0,07
64 мг/кг	17,4±0,5	0,11	15,4±0,5	0,09	15,3±0,6	0,11	14,6±0,8	0,08
96 мг/кг	17,4±0,5	0,10	15,1±0,6	0,08	17,1±0,5	0,11	13,8±0,6	0,09
128 мг/кг	17,2±0,6	0,11	12,7±0,7	0,10	18,2±0,4 *	0,11	13,3±0,5	0,09
160 мг/кг	17,8±0,8	0,12	17,0±0,7	0,11	17,2±0,4 *	0,13	14,3±0,8	0,09
192 мг/кг	17,6±0,6	0,11	16,0±0,6	0,11	17,6±0,5 *	0,14	16,1±1,1	0,10
224 мг/кг	15,6±0,5	0,09	17,7±0,6	0,09	13,9±0,6	0,10	13,5±0,7	0,07
	Кресс-салат				Редис			
Контроль	7,7±0,1	0,05	9,8±0,5	0,01	10,7±0,4	0,19	11,4±0,8	0,02
32 мг/кг	7,6±0,2	0,04	9,0±0,6	0,01	10,7±0,5	0,19	11,0±0,9	0,02
64 мг/кг	7,2±0,3	0,05	9,4±0,3	0,01	10,4±0,3	0,20	11,2±0,8	0,02
96 мг/кг	7,5±0,2	0,05	9,0±0,4	0,01	10,8±0,4	0,21	11,7±0,7	0,02
128 мг/кг	8,2±0,2	0,06	6,8±0,6 *	0,01	10,4±0,8	0,22	14,2±1,3	0,02
160 мг/кг	8,0±0,3	0,05	9,7±0,5	0,01	10,8±0,5	0,25	11,7±0,9	0,03
192 мг/кг	8,3±0,2 *	0,06	10,3±0,5	0,01	10,9±0,5	0,25	12,4±0,6	0,03
224 мг/кг	6,6±0,3 *	0,05	12,0±0,5 *	0,01	10,2±0,4	0,23	13,0±1,2	0,03

* – достоверное различие с контролем

Наиболее чувствительным биоиндикатором к загрязнению почв свинцом оказались проростки кресс-салата, угнетение роста надземной части которых на 14% произошло при общей внесенной концентрации 224 мг/кг, а корневой системы на 31% - уже 128 мг/кг (4 ПДК) (таблица 5). Однако при более высоком содержании металла длина корневой системы не только не уменьшалась, но даже увеличивалась, например, при концентрации 224 мг/кг - на 18%.

2. Токсические свойства кадмия в наших опытах оказались более выраженными, чем у свинца (таблица 6).

При ПДК кадмия в почве от 1 до 3 мг/кг (по разным источникам), в наших опытах уже при концентрации 0,6 и 0,9 мг/кг происходит

достоверное ингибирование корневой системы пшеницы (на 26-32%). Концентрация 1,2 мг/кг не дает существенных изменений роста, однако при содержании 1,5, 1,8 и 2,1 мг/кг Cd в субстрате длина корней уменьшается на 28-35%. Также на 32% уменьшается длина, а соответственно, и вес надземной части растений пшеницы. На втором месте по чувствительности к ионам Cd находится редис с белым кончиком, а именно, его надземная часть, ингибирование которой начинается при концентрации Cd в субстрате 1,5 мг/кг (на 10%) и увеличивается при концентрациях 1,8 и 2,1 мг/кг (на 22 и 34% соответственно). Корневая система редиса имеет тенденцию к увеличению длины при добавлении в среду соли кадмия, при этом достоверное увеличение длины по сравнению с

Т а б л и ц а 6

Оценка токсичности растворов Cd методом проростков тест-растений на песчаном субстрате

Концентрация Cd, мг/кг	Стебли		Корни		Стебли		Корни	
	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г
	Пшеница				Овес			
Контроль	21,2±1,0	0,11	20,3±0,9	0,08	15,2±0,4	0,07	12,9±0,5	0,05
0,3 мг/кг	19,8±1,2	0,10	18,7±1,5	0,10	16,1±0,2	0,09	14,8±0,6	0,08
0,6 мг/кг	20,6±1,3	0,10	15,0±1,0 *	0,08	15,4±0,8	0,10	15,2±0,5 *	0,08
0,9 мг/кг	19,6±0,6	0,10	13,8±0,5 *	0,08	15,1±0,6	0,10	11,7±0,7	0,06
1,2 мг/кг	20,2±1,3	0,10	17,8±1,4	0,08	15,9±0,7	0,10	16,8±1,5	0,09
1,5 мг/кг	20,2±1,0	0,11	13,3±0,7 *	0,09	15,8±0,6	0,10	14,1±1,4	0,07
1,8 мг/кг	17,0±1,5	0,09	13,1±0,8 *	0,09	14,6±0,5	0,10	14,5±0,6	0,08
2,1 мг/кг	14,4±0,9 *	0,07	14,6±0,8 *	0,06	11,8±0,4 *	0,08	9,4±0,6 *	0,06
	Кресс-салат				Редис			
Контроль	7,2±0,2	0,04	6,7±0,5	0,005	10,0±0,6	0,19	10,8±0,9	0,03
0,3 мг/кг	7,3±0,2	0,05	6,3±0,3	0,01	8,5±0,3	0,16	12,9±0,9	0,04
0,6 мг/кг	7,4±0,2	0,04	7,3±0,3	0,01	9,8±0,3	0,20	14,0±0,8	0,04
0,9 мг/кг	7,2±0,1	0,04	8,4±0,3 *	0,01	9,3±0,4	0,19	12,6±1,1	0,03
1,2 мг/кг	7,0±0,2	0,04	9,3±0,3 *	0,005	8,2±0,3	0,17	14,1±0,7 *	0,04
1,5 мг/кг	7,6±0,2	0,05	8,3±0,3	0,01	8,0±0,4 *	0,19	11,7±1,4	0,04
1,8 мг/кг	7,0±0,1	0,05	9,1±0,5 *	0,01	7,8±0,3 *	0,17	13,1±0,8	0,05
2,1 мг/кг	6,1±0,2 *	0,04	9,0±0,8	0,01	6,6±0,4 *	0,14	12,6±1,1	0,04

* – достоверное различие с контролем

**Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов
методом биотестирования**

контролем отмечается при средней концентрации металла - 1,2 мг/кг. Рост проростков овса уменьшается только при максимальной концентрации 2,1 мг/кг (надземной части на 22%, корней - на 27%). Невысокие концентрации Cd (0,6 мг/кг) вызывают достоверное увеличение длины корневой системы овса (на 15%). При максимальной концентрации 2,1 мг/кг на 15% уменьшается также размер надземной части кресс-салата, тогда как с добавлением 0,9-1,8 мг/кг металла в почвенный раствор происходит стимулирование роста корневой системы на 20-24%.

3. В опытах с тест-растениями использовались следующие суммарные концентрации Zn, внесенные в песчаный субстрат: 25, 50, 75, 100, 125, 150 и 175 мг/кг. Более чувствительным к

воздействию Zn оказался редис с белым кончиком (таблица 7).

Его надземная часть подвергалась ингибированию при концентрациях 100 и 125 мг/кг (то есть в пределах ПДК), тогда как для корней сходные изменения наступили при внесении в почву 175 мг/кг (1,2 ПДК). Достоверное уменьшение длины проростков овса отмечалось при концентрации 150 мг/кг (на 12% у надземной части и на 23 у корневой). При концентрации 175 мг/кг ингибировалась надземная часть у пшеницы (на 17%) и корни у кресс-салата (на 26%). Внесение незначительного количества Zn (25-50 мг/кг) может стимулировать рост проростков пшеницы (корни) и овса (надземная часть).

Т а б л и ц а 7

Оценка токсичности растворов Zn методом проростков тест-растений на песчаном субстрате

Концентрация Zn, мг/кг	Стебли		Корни		Стебли		Корни	
	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г
	Пшеница				Овес			
Контроль	20,2±0,9	0,11	21,2±1,1	0,11	15,5±0,5	0,12	18,4±0,5	0,12
25 мг/кг	17,8±0,7	0,13	24,5±0,9	0,15	17,8±0,5 *	0,12	18,2±0,9	0,10
50 мг/кг	19,3±0,6	0,12	24,8±0,6 *	0,13	16,5±1,1	0,13	17,5±0,6	0,11
75 мг/кг	18,0±1,1	0,08	23,1±1,6	0,13	16,4±0,7	0,12	20,7±1,5	0,12
100 мг/кг	18,8±0,6	0,11	22,6±1,0	0,14	16,8±0,7	0,13	18,6±1,1	0,14
125 мг/кг	17,5±0,8	0,11	24,3±1,0	0,14	15,5±0,9	0,11	19,9±1,1	0,09
150 мг/кг	18,9±0,6	0,10	24,3±1,2	0,12	13,7±0,3 *	0,09	14,1±0,5 *	0,07
175 мг/кг	16,7±0,7 *	0,10	23,5±1,2	0,14	16,7±0,7	0,12	19,4±0,7	0,11
	Кресс-салат				Редис			
Контроль	6,0±0,2	0,04	13,5±0,8	0,02	5,7±0,2	0,17	14,8±0,8	0,07
25 мг/кг	6,0±0,2	0,04	12,4±0,9	0,02	5,7±0,2	0,13	13,8±1,0	0,05
50 мг/кг	6,0±0,2	0,05	13,3±0,9	0,03	5,3±0,2	0,13	12,7±0,8	0,04
75 мг/кг	5,8±0,1	0,05	13,6±0,9	0,02	5,3±0,3	0,13	11,9±1,2	0,05
100 мг/кг	5,8±0,2	0,04	14,4±1,2	0,02	4,9±0,1 *	0,14	15,2±0,9	0,06
125 мг/кг	6,1±0,1	0,05	11,6±0,8	0,02	4,6±0,3 *	0,12	11,4±1,0	0,04
150 мг/кг	5,3±0,3	0,04	11,6±0,6	0,02	5,6±0,3	0,15	13,0±1,6	0,04
175 мг/кг	5,4±0,2	0,04	10,0±0,9 *	0,01	5,2±0,4	0,13	9,0±1,2 *	0,03

* – достоверное различие с контролем

Т а б л и ц а 8

Оценка токсичности растворов Си методом проростков тест-растений на песчаном субстрате

Концентрация Си, мг/кг	Стебли		Корни		Стебли		Корни	
	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г
	Пшеница				Овес			
Контроль	17,7±0,5	0,11	22,3±0,5	0,16	14,2±0,5	0,90	15,4±0,7	0,05
6 мг/кг	16,6±0,7	0,10	24,4±0,9	0,14	15,6±1,1	0,11	13,8±1,4	0,08
12 мг/кг	15,8±0,7	0,10	22,9±1,2	0,10	13,9±0,6	0,09	13,0±0,6	0,07
18 мг/кг	16,3±0,8	0,10	21,9±1,3	0,13	13,1±0,8	0,08	14,0±1,0	0,08
24 мг/кг	17,4±0,5	0,11	24,1±0,8	0,15	16,5±0,5 *	0,12	14,1±1,0	0,09
30 мг/кг	16,7±0,7	0,13	21,6±1,0	0,15	13,3±0,4	0,10	14,5±0,4	0,08
36 мг/кг	16,4±0,7	0,10	22,9±0,9	0,13	13,3±0,3	0,08	14,7±0,3	0,08
42 мг/кг	16,3±1,0	0,10	21,8±1,5	0,13	16,5±0,9	0,11	16,2±1,1	0,10
	Кресс-салат				Редис			
Контроль	7,3±0,2	0,05	11,3±1,5	0,01	7,2±0,3	0,17	12,4±0,8	0,05
6 мг/кг	7,4±0,1	0,06	10,7±0,6	0,01	5,4±0,5	0,15	13,5±1,5	0,06
12 мг/кг	6,8±0,2	0,05	14,3±0,8	0,03	7,1±0,4	0,17	14,4±1,0	0,06
18 мг/кг	6,8±0,2	0,05	10,5±1,0	0,02	6,8±0,2	0,17	10,5±1,0	0,06
24 мг/кг	6,7±0,1	0,05	10,0±0,4	0,02	6,7±0,1	0,14	10,0±0,4	0,05
30 мг/кг	5,9±0,1	0,04	17,9±0,7 *	0,02	5,9±0,1 *	0,13	17,9±0,7 *	0,06
36 мг/кг	5,8±0,2	0,04	13,4±0,7	0,02	5,8±0,2 *	0,15	13,4±0,7	0,04
42 мг/кг	7,7±0,2	0,05	16,1±1,1	0,02	7,7±0,2	0,09	16,1±1,1	0,03

4. Исследованные концентрации Си (6, 12, 18, 24, 30, 36 и 42 мг/кг) не вызвали негативных изменений в росте пшеницы, овса и кресс-салата (таблица 8).

Наиболее чувствительным растением к повышению концентрации Си в среде является редис с белым кочиком, а именно его надземная часть, достоверное уменьшение длины которой на 20% наблюдалось при содержании меди в субстрате 30 и 36 мг/кг (ПДК=40 мг/кг). Внесение небольших концентраций меди приводит к стимулированию надземной части растений (при 24 мг/кг длина проростков овса увеличилась на 14%), а также корневой системы (при 30 мг/кг у кресс-салата и редиса - на 37 и 31% соответственно).

5. Наиболее чувствительным к содержанию Ni в почве в модельных опытах проявил себя редис с белым кончиком (таблица 9).

Как видно из таблицы, минимальная концентрация 5 мг/кг вызвала достоверное уменьшение длины корней, тогда как более высокие концентрации (10, 15, 20, 25, 30, 35 мг/кг), находящиеся, однако, в пределах ПДК (50 мг/кг), вызвали ингибирование надземной части растения на 21-53%. При этом наблюдалась высокая обратная корреляционная зависимость между длиной проростков и концентрацией Ni в почве ($r=-0,91$), то есть при увеличении содержания металла в субстрате длина проростков уменьшалась. Проростки пшеницы реагируют на присутствие в почве 30-35 мг/кг Ni снижением роста на 12-20%. Для корней пше-

* – достоверное различие с контролем

Т а б л и ц а 9

Оценка токсичности растворов Ni методом проростков тест-растений на песчаном субстрате

Концентрация Ni, мг/кг	Стебли		Корни		Стебли		Корни	
	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г	Средняя длина, см	Сред. вес, г
	Пшеница				Овес			
Контроль	18,4±0,6	0,12	13,2±0,5	0,11	16,2±0,3	0,11	13,6±0,5	0,08
5 мг/кг	18,4±0,6	0,12	14,2±0,6	0,13	15,2±0,7	0,09	12,6±0,7	0,06
10 мг/кг	17,6±0,7	0,11	8,2±0,4 *	0,09	15,5±0,4	0,10	13,3±0,5	0,09
15 мг/кг	17,8±0,7	0,11	16,2±0,6 *	0,11	16,5±0,4	0,10	14,8±0,5	0,08
20 мг/кг	18,8±0,6	0,11	15,9±0,5 *	0,13	15,4±0,5	0,10	14,4±0,4	0,08
25 мг/кг	17,7±0,6	0,11	11,5±0,6	0,10	15,5±0,3	0,10	15,4±0,6	0,09
30 мг/кг	16,1±0,6 *	0,10	14,1±0,6	0,10	15,2±0,4	0,10	13,7±0,7	0,07
35 мг/кг	14,8±0,6 *	0,10	15,7±0,7 *	0,10	12,2±0,3 *	0,08	12,3±0,5	0,06
	Кресс-салат				Редис			
Контроль	7,7±0,2	0,05	11,5±0,4	0,01	9,9±0,4	0,24	11,8±1,1	0,04
5 мг/кг	8,1±0,3	0,06	9,5±0,4 *	0,01	8,5±0,6	0,19	6,4±0,7 *	0,02
10 мг/кг	7,9±0,2	0,05	10,0±0,7	0,01	7,8±0,5 *	0,20	11,2±1,0	0,03
15 мг/кг	7,6±0,2	0,05	10,7±0,8	0,01	6,6±0,5 *	0,15	9,8±0,9	0,03
20 мг/кг	7,6±0,3	0,05	11,3±0,6	0,01	5,6±0,5 *	0,14	9,0±0,6	0,03
25 мг/кг	7,1±0,3	0,05	8,0±0,5 *	0,01	6,1±0,4 *	0,15	8,9±1,0	0,02
30 мг/кг	7,0±0,4	0,05	8,8±0,5 *	0,01	6,5±0,4 *	0,22	8,9±1,6	0,04
35 мг/кг	6,9±0,3	0,05	9,9±0,5	0,02	4,7±0,6 *	0,11	9,6±1,0	0,03

ницы отмечалось ингибирование при концентрации 10 мг/кг (на 38% по сравнению с контролем). Надземная часть овса подверглась ингибированию на 25% при добавлении 35 мг/кг Ni, тогда как достоверных изменений корневой системы отмечено не было. У кресс-салата, наоборот, более чувствительными к загрязнению никелем оказались корни растения: отмечено их ингибирование на 17-30% при концентрациях 5, 25 и 30 мг/кг.

Выводы.

1. Различные дозы загрязняющих веществ в почве (в частности, тяжелых металлов) могут приводить к морфометрическим изменениям растений - стимулированию роста корневой системы или ингибированию надземной части проростков. По степени интенсивности

этих изменений можно судить об общей токсичности субстрата.

2. Для выявления загрязнения каким-либо одним металлом можно использовать тест-растения, проявившие наибольшую чувствительность к исследованным поллютантам: редис с белым кончиком - к загрязнению Cd, Zn, Cu, Ni, кресс-салат - к загрязнению Pb, пшеницу - к загрязнению Cd и Zn.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Тяжелые металлы – защитные возможности почв и растений – урожай // Химические элементы в системе почва-растение. – Новосибирск, 1982. – С. 73.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовников Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высш. шк., 1998. – 286 с.

* – достоверное различие с контролем

4. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. – Воронеж: Б.и., 1997. – 304 с.

5. Федорова А.И., Шунелько Е.В. Кислотность почв под зелеными насаждениями г. Воронежа как индикаторный признак состояния городской экосистемы // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. География и геоэкология. – 2000. – №4. – С. 77-83.

6. Шунелько Е.В. Содержание гумуса под древесными насаждениями г. Воронежа // Проблемы реликтов Среднерусской лесостепи в биологии и ландшафтной географии. Материалы науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения С.В. Голицина. – Воронеж, 1997. – С. 25-26.

УДК 502.55 (203)

А.Е. Бобровников, С.А. Куролап, В.Ю. Белоцерковский

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Оценка качества воздушного бассейна промышленно-развитых городов является одной из важнейших задач в области эколого-аналитического контроля и мониторинга окружающей среды. Моделирование параметров и условий загрязнения атмосферы позволяет своевременно вырабатывать наиболее адекватные управленческие решения для снижения уровней загрязнения окружающей среды, а, следовательно, минимизации уровней риска для здоровья населения промышленных городов.

Действующая система оценки уровня загрязнения атмосферы, основанная на учете полней максимальных концентраций, приведенных к 20-ти-минутному временному интервалу [3], а также максимальных выбросов каждого *источника загрязнения атмосферы (ИЗА)* в их совокупности предназначена для экологического нормирования и не обладает достаточной полнотой для проведения анализа влияния данных выбросов на здоровье населения на протяжении длительного временного интервала. Реализующий этот подход программный продукт “Эколог” был специально разработан для расчета предельно допустимых выбросов, основанных на принятых в России разовых предельных допустимых концентрациях с 20-ти-минутным периодом осреднения.

Нами разработан и апробирован новый *расчетный метод определения среднегодовых и*

среднесуточных концентраций (РМССК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе промышленных городов. Базовое отличие этого метода от подходов, предлагаемых специалистами в сфере оценки риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферного воздуха [1, 2], заключается в следующем: вместо эмпирической формулы, в которой максимально-разовая за год 20-ти-минутная концентрация умножается на два понижающих весовых фактора, полученных на основе экспертных оценок, используется алгоритм, учитывающий нестационарность и асинхронность работы ИЗА в течение суток и года, а также среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые метеорологические данные о скорости и направлении ветра.

Следует учитывать, что большинство современных производств и технологических процессов обладает высокой степенью неритмичности, а, следовательно, вызывает необходимость оценки вероятности, характеризующей возможность соответствия выбросов источника на определенной стадии технологического процесса конкретному временному периоду. С этой точки зрения очевидно, что решением задачи учета нестационарности и асинхронности будет нахождение наиболее вероятного временного интервала за определенный период, при котором с заданной веро-