

ЭКОЛОГИЯ

УДК 631.427:502.521

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРОДСКИХ ПОЧВ И ДЕТОКСИЦИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА НАНОКОМПОЗИЦИОННОГО ПРЕПАРАТА

М.А. Пукальчик, В.А. Терехова

Экологическая оценка городских почв, расположенных на разном удалении от автотрассы (г. Киров), показала корреляционную связь между степенью их загрязнения тяжелыми металлами (Pb, Ni, Cr Cd), коэффициентом Z_c и откликами тест-систем разных трофических уровней. Чувствительность тест-культур к тяжелым металлам (ТМ) снижалась в ряду: люминесцентный штамм бактерии *Escherichia coli* > ракообразные *Daphnia magna* > растения *Sinapis alba* > микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* > инфузории *Paramecium caudatum*. При моделировании ремедиации почв показано, что детоксицирующие эффекты наноконпозиционного сорбента (НК) нового поколения и промышленного препарата — гумата (Гуми-90), различаются незначительно.

Ключевые слова: городские почвы, тяжелые металлы, биотестирование, детоксикация, наноматериалы, гуминовые вещества.

Введение

Экологическое состояние городских экосистем вызывает у населения все большее беспокойство по целому ряду причин. Среди них особое место занимает возрастание транспортной нагрузки, неизбежно приводящее к химическому загрязнению почв [5, 7]. К приоритетным загрязняющим веществам специфических почв городских территорий — урбаноземов, относятся тяжелые металлы [1, 4]. Предложено немало способов химической, физической и биологической ремедиации почв урбанизированных экосистем, в литературе широко обсуждаются эффективность и способы ее оценки [6, 9, 23].

Согласно биотической концепции, экологический контроль по реакции биоты — наиболее надежная форма характеристики экологического качества экосистемы [2, 10, 12, 17], при этом лабораторное биотестирование и отклики стандартизованных тест-организмов во многих случаях могут служить показателем, опережающим проявление негативных эффектов в природных условиях [11, 29].

Эффективными сорбентами токсических компонентов в почвах являются гуминовые препараты. Исследования по инактивации тяжелых металлов и других загрязняющих веществ с помощью гуминовых кислот широко известны. Особенно интенсивное развитие работ в этом направлении приходилось на 60—90-е гг. XX в. [3, 13, 15, 24, 32]. В настоящее время с развитием нанотехнологий появилась возможность модифицировать традиционные гуминовые препараты, в частности наночастицами металлов, и получать за счет этого препараты повышенной сорбционной емкости. Однако эффективность таких

сорбентов при обработке почв природных ценозов, как и их биобезопасность, изучены недостаточно.

Цель работы заключалась в экологической оценке урбаноземов индустриального района г. Кирова и выявлении эффекта сорбента нового поколения, разработанного на основе гуминовых кислот и наноматериалов.

Материал и методы исследования

Исследования проводили на образцах урбаноземов, испытывающих аэротехногенную нагрузку от оживленной автотрассы в индустриальном районе Октябрьский г. Кирова. Пробы отбирали в 2010 и 2011 гг. с площадок, расположенных по предполагаемому градиенту уменьшения техногенной нагрузки. Всего обследовано пять площадок со сходной травянисто-кустарничковой растительностью (табл. 1). Типичные урбаноземы района сформированы на основе дерново-подзолистых почв [19]. Условным «фоном» считали площадку в юго-западной части города на территории лесопарковой зоны, наименее подверженной воздействию техногенной нагрузки.

Репрезентативные образцы почв отбирали из верхнего горизонта (0—20 см) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.04-85 с площадок размером 1 м²; их подготовку к анализам проводили по ГОСТ 17.4.4.02-84. Содержание валовых форм тяжелых металлов (ТМ) Pb, Ni, Cr, Cd определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии, согласно стандартным методикам (ПНД Ф 16.1:2.2.2.63-09, процедура извлечения валовых форм элементов соответствовала ПНД Ф 16.1:2.2.2.3:3.36-02, редакция 2007 г.). Загрязнение почвы оценивали по суммарному показателю Z_c ,

Т а б л и ц а 1

Описание точек отбора почвенных проб

№ точек	Точка отбора
1	5 м от автотрассы на з-с-з; газон, покрытый травянистой растительностью; гор. U ₁ темно-кочневый, бесструктурный, рыхлый; сформирован торфосмесью; корней среднее количество
2	30 м от автотрассы на з-с-з; газон, покрытый травянистой растительностью; защитная полоса из многолетних кустарников в непосредственной близости; ближе к автотрассе; гор. U ₁ темно-коричневый—коричневый с прослойками красного суглинка и небольшого количества торфосмеси; корней среднее количество; единичные включения бытового мусора
3	50 м от автотрассы на з-с-з; газон, покрытый травянистой растительностью и многолетними деревьями; гор. U ₁ коричневый, легкосуглинистый; включения — щебень (до 15%); корней много
4	150 м от автотрассы на з-с-з; газон, не покрытый растительностью; гор. U ₁ красно-коричневый, суглинистый, зернистый, плотный, корней очень мало; включения бытового мусора единичные (25%)
5	200 м от автотрассы на з-с-з; газон на территории парковой зоны; гор. U ₁ темно-коричневый, черный, бесструктурный, рыхлый, влажный, сформирован торфосмесью; корней много; включения бытового мусора единичные (15%)
Фон	фоновая почва, не испытывающая воздействия автомагистрали и расположенных поблизости предприятий; ~ 5 км на ю-ю-в от автотрассы; парковая зона, исторический участок леса, располагавшегося на территории до начала городской застройки; гор. A0 — подстилка из хвоинок, веточек, мощность 3—6 см, переход ровный по форме; гор. A1 — дерновый светло-серого цвета, мелкокомковатый по структуре, мощность 15—20 см, переход явный по цвету; гор. A2 — подзолистый, белесый, бесструктурный, переход волнистый по цвету

рассчитываемому по формуле $Zc = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1)$, где n — число определяемых ингредиентов; K_c — коэффициент концентрации элемента, равный отношению его количества в загрязненной почве к фоновому. Уровень загрязнения определяли в соответствии с [16].

В почвенных пробах определяли следующие агрохимические показатели: содержание органического вещества (гумуса) — по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова (ГОСТ 26213-91), содержание подвижных форм фосфора и калия (мг/кг почвы) — по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91).

Оценка токсичности почвы проведена традиционными методами биотестирования с использованием набора стандартизованных тест-культур. Известно, что чувствительность различных организмов к токсикантам заметно варьирует в зависимости от вида загрязнения, его возраста и т.д. [30]. Для повышения объективности полученных результатов в настоящее время при исследовании токсичности как отдельных веществ, так и их смесей, применяются так называемые тест-батареи, состоящие из нескольких одно-видовых тестов, в которых используют организмы, принадлежащие к различным трофическим уровням и/или таксономическим группам [18, 26].

В нашем исследовании батарея биотестов в качестве тест-организмов включала следующие представители: низшие ракообразные — *Daphnia magna* и *Ceriodaphnia affinis* (оценивали выживаемость мальков за 96 и 48 ч экспозиции соответственно); зеленые протококковые водоросли — *Scenedesmus quadricauda* (угнетение прироста численности клеток за 72 ч); высшие растения — горчица белая *Sinapis alba* (торможение роста корней через 96 ч); простейшие —

парамиций *Paramecium caudatum* (выживаемость особей через 24 ч), бактерии — генно-модифицированная люминесцирующая культура *Escherichia coli* (подавление свечения за 30 мин экспозиции). Все тесты проведены согласно стандартным методикам, рекомендованным для экологического контроля почв [14, 20—22, 28].

Обработку токсичных образцов почв осуществляли двумя современными препаратами, созданными на основе гуминовых веществ, один из которых содержал наночастицы железа [25]. Гуми-90 представляет собой достаточно широко известный препарат гумата натрия, производимый из углефицированного сырья (ООО НВП «БашИнком», г. Уфа). Наноконпозиционный сорбент Fe₃O₄-ГК (НК) — препарат с наночастицами магнетита, включенными в гуматную матрицу. Состав препарата — магнетит:гуминовые вещества = 10:90% (вес.) [25].

Обработку образцов почв (массой 200 г) проводили в лабораторных условиях в сосудах высотой 20 и диаметром 10 см. Действие гуминовых препаратов на почву исследовали в двух концентрациях. Для этого в опытные образцы с поверхности вносили испытуемые гуминовые препараты в жидком виде до достижения их концентрации в почве 0,0025 и 0,01% (вес.) при оптимальном увлажнении (60% от наименьшей влагоемкости). Почву в сосудах рыхлили, закрывали пленкой с отверстиями и инкубировали при комнатной температуре в течение 21 сут. Контролем служили образцы почв без внесения гуминовых препаратов.

Заключение о токсичности проб и детоксицирующем действии вносимых в почву гуминовых препаратов делали по определенному стандартными методами отклонению значений тест-функций в опытных

образцах относительно контроля (образцы увлажненные водой).

Полученные данные статистически обрабатывали при помощи компьютерных программ MS Excel 2003 и Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Химическая характеристика образцов урбаноземов. Исследуемые почвы имеют слабощелочную реакцию (рН водной вытяжки от 7,51 до 8,06), достаточно высокое содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5 от 268 ± 50 до 345 ± 45 мг/кг почвы) и обменного калия (K_2O от 167 ± 48 до 250 ± 50 мг/кг почвы), среднее содержание гумуса ($C_{орг}$ от $3,45 \pm 0,45$ до $6,69 \pm 1,22$ мг/кг почвы), что способствует активной аккумуляции тяжелых металлов. В табл. 2 представлены данные по содержанию некоторых тяжелых металлов в почвах с пробных площадок, находящихся на разном удалении от автомагистрали.

Как показали расчеты интегрального коэффициента Zc , практически все образцы характеризуются допустимой степенью загрязнения ($Zc < 16$). Образец с площадки, расположенной наиболее близко к автомагистрали (5 м) в 2010 г. имел умеренно опасный уровень загрязнения ($16 < Zc < 32$), а в 2011 г. в этой точке он несколько снизился.

Экотоксикологическая характеристика урбаноземов. Проведена серия токсикологических экспериментов по изучению влияния водных экстрактов из

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в урбаноземах, находящихся в разной удаленности от автомагистрали, мг/кг

Расстояние, м	Pb	Ni	Cr	Cd	Zc
2010 г.					
5	450,41	102,52	300,12	4,04	21,82
30	102,12	12,18	58,20	1,98	4,13
50	150,45	105,41	220,11	4,05	15,83
150	250,02	60,21	208,50	2,32	11,87
200	300,21	80,27	355,27	0,50	12,61
Фон	65,30	25,02	52,20	0,50	—
2011 г.					
5	395,18	135,40	256,72	3,58	15,95
30	87,41	21,15	62,40	1,64	2,52
50	109,70	96,70	260,41	4,22	12,62
150	289,91	75,40	245,05	1,76	9,47
200	294,75	93,35	298,21	0,47	8,56
Фон	85,30	32,98	67,30	0,56	—

образцов урбаноземов (соотношение вода:почва = 1:4) на параметры пяти биотест-систем. В табл. 3 представлены данные, свидетельствующие о снижении значений исследуемых тест-функций относительно контроля (условный «фон»).

Таблица 3

Значения тест-функций у разных видов организмов при биотестировании образцов урбаноземов, % относительно контроля

Расстояние, м	<i>Sinapis alba</i> , длина корней	<i>Scenedesmus. quadricauda</i> , прирост численности	<i>Daphnia magna</i> , выживаемость	<i>Paramecium caudatum</i> , выживаемость	<i>Escherichia coli</i> , интенсивность биолюминесценции
2010 г.					
5	26,32 ± 17,54	45,10 ± 4,50	22,22 ± 9,80	52,17 ± 3,3	54,37 ± 5,55
30	80,70 ± 29,82	80,82 ± 10,30	54,44 ± 9,80	18,97 ± 2,5	80,67 ± 2,06
50	59,65 ± 31,58	60,50 ± 8,9	38,89 ± 7,07	28,21 ± 3,6	64,58 ± 16,61
150	80,70 ± 28,07	68,20 ± 7,7	41,20 ± 14,40	23,73 ± 2,6	71,11 ± 9,38
200	78,95 ± 22,81	60,50 ± 7,5	38,89 ± 9,80	26,32 ± 3,9	64,51 ± 2,94
Фон	100 ± 14,20	100 ± 5,45	100 ± 5,50	100 ± 3,3	100 ± 10,11
2011 г.					
5	40,32 ± 11,20	38,85 ± 10,68	38,20 ± 9,50	40,25 ± 3,3	48,74 ± 15,30
30	75,25 ± 5,52	75,15 ± 15,26	41,51 ± 10,00	21,20 ± 4,0	78,88 ± 5,56
50	61,25 ± 3,35	48,15 ± 6,24	28,80 ± 15,10	25,00 ± 1,25	71,17 ± 6,35
150	95 ± 11,20	38,12 ± 11,20	25,50 ± 5,60	35,86 ± 3,3	75,60 ± 8,43
200	94 ± 7,50	25,15 ± 5,55	21,2 ± 9,80	5,21 ± 3,3	69,79 ± 5,11
Фон	100 ± 14,20	100 ± 3,32	100 ± 0,50	100 ± 3,3	100 ± 5,50

Примечание. Жирным шрифтом выделены токсичные варианты.

Результаты показали, что воздействие водных экстрактов на разные тест-организмы не было однозначным. Заключение о токсичности делали в соответствии с критериями, установленными соответствующими методиками измерений. Большинство образцов вызвали подавление тест-функций минимум в двух биотестах. Наибольшей токсичностью обладали образцы, отобранные на расстоянии 5 м от автодороги (характеризовались как «остро токсичные»).

Для проверки тесноты и направленности связи между суммарным коэффициентом загрязнения урбаноземов *Zc* и биотическими откликами лабораторных тест-культур были рассчитаны непараметрические коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (табл. 4).

Таблица 4

Корреляционная матрица суммарного показателя загрязнения (*Zc*) и откликов тест-организмов

Год	<i>Sinapis alba</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Paramecium caudatum</i>	<i>Escherichia coli</i>
2010	-0,97	-0,96	-0,97	1,00	-0,90
2011	-0,30	-0,10	-0,45	0,80	-0,70

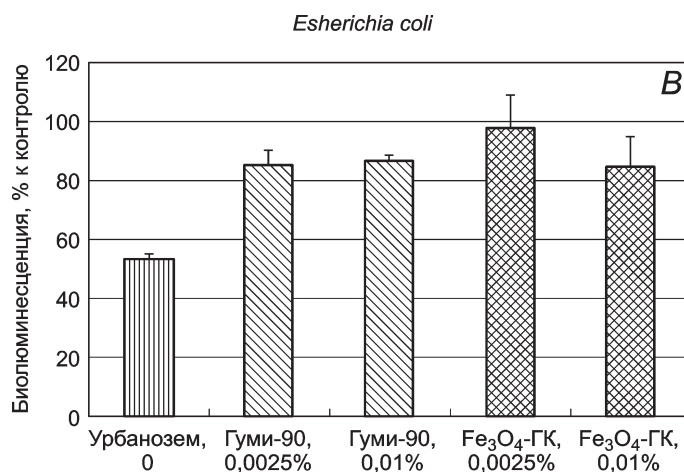
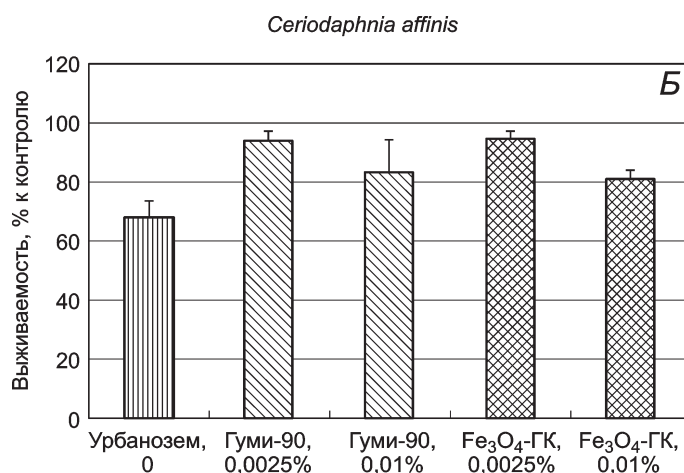
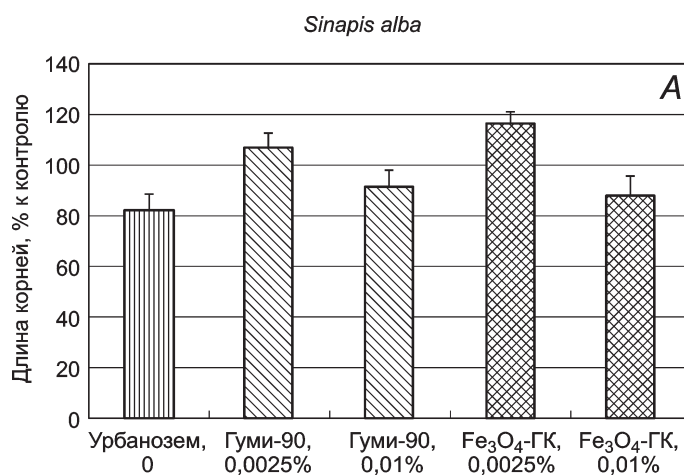
Примечание. Жирным шрифтом выделены варианты, характеризующиеся тесной обратной связью.

В результате корреляционного анализа установлена тесная обратная связь между снижением значений откликов тест-организмов и показателем суммарного загрязнения образцов: при увеличении *Zc* во многих случаях наблюдалось уменьшение тест-параметра биотестов (выживаемость, прирост и т.д.). Лишь в откликах тест-системы с инфузориями *P. caudatum* такая зависимость не обнаружена ни в 2010 г., ни в 2011 г.

На основании рассчитанных (средних по двум годам) значений коэффициентов корреляции тест-организмы по степени снижения чувствительности к загрязнению тяжелыми металлами могут быть расположены в ряду: *E. coli* > *D. magna* > *S. alba* > *Sc. quadricauda* > *P. caudatum*.

Экотоксикологическая оценка детоксикации урбаноэма гуминовыми препаратами. Для оценки ремедиационного эффекта использовали наиболее загрязненный образец урбаноэма, отобранный в 2011 г. на расстоянии 5 м от автодороги (табл. 2). Эффективность действующих концентраций препаратов оценивали по результатам биотестирования относительно воды (контроль) (рисунок).

Биотестирование показало влияние гуминовых препаратов на экотоксичность урбаноэма, что выразилось в изменении тест-функций растений, церидафний и люминесцентных бактерий. Так, в контрольном образце средняя длина корней проростков *S. alba* составила $47,30 \pm 3,76$ мм. После обработки гуминовыми препаратами она увеличилась на 6–41%



Влияние гуминовых препаратов на экотоксичность урбаноэма по тест-откликам растений (А), рачков (Б) и бактерий (В), % к контролю (вода)

(рисунок, А). Добавление гуминовых препаратов стимулировало свечение бактерий *E. coli* (рисунок, В) и увеличивало выживаемость рачков *C. affinis* (рисунок, Б) по сравнению с контролем — необработанной почвой.

При содержании 0,0025% гуминовых препаратов в почве детоксицирующие свойства проявлялись за-

метнее, чем при 0,01%. Следует отметить, что более выраженный положительный эффект при внесении меньших доз был отмечен нами и ранее, в частности при оценке их влияния на биоактивность смеси почвогрунта с фосфогипсом [8].

Сопоставляя ремедиационные эффекты традиционного гуминового препарата Гуми-90 и наноконкомпозита, содержащего гуминовые кислоты и наночастицы железа и обладающего рядом технологических преимуществ при оценке загрязнения вод [31], мы можем констатировать, что различия в действии этих двух веществ не были существенными. Тем не менее эффект 0,0025% НК хотя и незначительный, но превосходил эффект Гуми-90, что было заметно при оценке действия по реакциям двух тест-культур (*S. affinis* и *E. coli*).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В.А., Краснова Н.М., Борисочкина Т.Н.* и др. Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. М., 1993.
2. *Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург, 1994.
3. Гуминовые вещества в биосфере / Под ред. Д.С. Орлова. М., 1993.
4. *Давыдова С.Л., Тагасов В.И.* Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: Учеб. пособие. М., 2002.
5. *Евгеньев И.Е., Каримов Б.Б.* Автомобильные дороги в окружающей среде. М., 1997.
6. *Егорова Е.В.* Эколого-биологическая оценка мелиорантов для детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Проблемы агрохимии и экологии. 2010. № 1.
7. *Кавтарадзе Д.Н., Николаева Л.Ф., Поршнева Е.Б., Флорова Н.Б.* Автомобильные дороги в экологических системах (проблемы взаимодействия). М., 1999.
8. *Каниськин М.А., Изосимов А.А., Терехова В.А.* и др. Влияние гуминовых препаратов на биоактивность почвогрунта с фосфогипсом // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 9.
9. *Кирейчева Л.В., Глазунова И.В.* Методы детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Почвоведение. 1995. № 7.
10. *Левич А.П.* Биотическая концепция контроля природной среды // Докл. РАН. 1994. № 2.
11. *Лесников Л.А.* Основные задачи, возможности и ограничения биотестирования // Теоретические вопросы биотестирования / Под ред. В.И. Лукьяненко. Волгоград, 1983.
12. *Опекунов А.Ю.* Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду: Учеб. пособие. СПб., 2006.
13. *Перминова И.В.* Детоксирующие свойства гуминовых веществ в загрязненных средах и перспективы их практического применения // Мат-лы II Моск. междунар. конгр. по биотехнологии «Состояние и перспективы развития». 10–14 ноября 2003 г. М., 2003.
14. ПНД ФТ 14.1:2:3:4.11-04 (ПНД ФТ 16.1:2:3:3.8-04). Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм» на приборе «Биотокс-10».
15. *Попов А.И.* Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб., 2004.
16. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. СанПин 2.1.7.1287-03, утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 16 апреля 2003 г.
17. *Терехова В.А.* Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М., 2007.
18. *Терехова В.А.* Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2.
19. *Тюлин В.В.* Почвы Кировской области. Киров, 1976.
20. ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний.
21. ФР.1.39.2007.03221. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости цериодафний.
22. ФР.1.39.2007.03223. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей.
23. *Цугкиев Б.Г., Басаев Т.Б., Гагиева Л.И.* и др. Экологические способы нейтрализации тяжелых металлов в почве // Земледелие. 2004. № 1.
24. *Чуков С.Н.* Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб., 2001.
25. *Юрищева А.А., Кыдралиева К.А., Пукальчик М.А.* и др. Наноконкомпозитный сорбент для очистки природных сред и его экотоксикологическая оценка // Экология и промышленность России. 2011. № 5.
26. *Blasé C.* Canadian application of microbiotests to assess the toxic potential of complex liquid and solid media // New Microbiotests for Routine Toxicity Screening and Biomonitoring. Plenum Publishers, and Biomonitoring. N.Y., 2002.

Выводы

Полученные в нашей работе данные способствуют не только преодолению нанофобий в обществе, но и позитивному отношению человека к преднамеренному распространению и использованию промышленных наноматериалов в природоохранных целях. Из сравнения результатов оценки токсичности наноконпозиционного препарата в водном растворе [25] и почвенных образцах следует, что при добавлении в почву безопасные для биоты концентрации наноконпозиционного сорбента на порядок выше. Таким образом, почва сохраняет свои протекторные функции и по отношению к наноматериалам.

Авторы признательны докт. хим. наук К.А. Кыдралиевой за предоставленный препарат наноконпозиционного сорбента, канд. биол. наук О.С. Якименко за помощь в работе с гуматами.

27. *Harvey G.R., Boran D.A., Tokar J.M.* The structure of marine fulvic and humic acids // *Mar. Chem.* 1983. N 12.

28. *Persooone G.* Recent new microbiotests for cost-effective toxicity monitoring: the Rapidtoxkit and Phytotoxkit // 12th International Symposium on toxicity assessment. Book of abstract. 2005.

29. *Selivanovskaya S.Yu., Stepanova N.Yu., Latypova V.Z.* et al. Bioassay of industrial waste pollutants // *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment.* N.Y., 2004.

30. *Straalen N.M. van, Leeuwangh P., Stortelder P.B.M.* Progressing limits for soil ecotoxicological risk assessment // *Ecotoxicology of Soil Organisms.* N.Y., 1994.

31. *Zaripova A., Kydraliev K., Li S.P.* et al. Design of magnet-active nano-hybrid sorbents on the basis of humic substances // *J. Biological Physics and Chemistry.* 2008. N 8.

32. *Ziechmann W.* Huminstoffe. Basel, 1980.

Поступила в редакцию
16.02.2012

ECOTOXICOLOGICAL EVALUATION OF URBAN SOILS AND DETOXICATION EFFECT OF NANOCOMPOSITE PREPARATION

M.A. Pukalchik, V.A. Terekhova

The ecological quality of some urban soils being under the constant influence of aerotechnogenic pollution of Kirov industrial district has been study. Close correlation between content of heavy metals Pb, Ni, Cr Cd (*Zc*) and the response of the biotest-systems has been established. The sensitivity of the biotests by heavy metals pollution evolved within decrease in row the bioluminescence bacteria *Escherichia coli* > crustaceans *Daphnia magna* > higher plant *Sinapis alba* > algae *Scenedesmus quadricauda* > infusoriance *Paramecium caudatum*. The simulation of soil remediation has showed that the detoxifying effects of the modern nanocomposite preparation and the commercial humate (Humi-90) are similar.

Key words: urban soil, heavy metal, bioassay, detoxication, nanomaterials, humic substances.

Сведения об авторах

Пукальчик Мария Алексеевна, аспирант каф. земельных ресурсов и оценки почв ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495)939-28-63; *e-mail:* pukalchik.maria@gmail.com.
Терехова Вера Александровна, докт. биол. наук, вед. науч. сотр. Ин-та проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, зав. лаб. экотоксикологического анализа почв ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495)939-28-63; *e-mail:* vterekhova@gmail.com.