

УДК 631.416+57.044

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ХИМИЧЕСКИМИ И ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

А. С. Олькова¹, Г. И. Березин¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}

¹ Вятский государственный университет
Россия, 610002, Киров, Московская, 36

² Институт биологии Коми научного центра УрО РАН
Россия, 167982, Сыктывкар, Коммунистическая, 28
E-mail: morgan-abend@mail.ru

Поступила в редакцию 17.02.16 г.

Оценка состояния почв городских территорий химическими и эколого-токсикологическими методами. – Олькова А. С., Березин Г. И., Ашихмина Т. Я. – Проведена оценка экологического состояния почв урбосистемы по показателям валового содержания тяжелых металлов, их подвижных форм, нефтепродуктов, интегральной токсичности, активности каталазы почвы. Наиболее неблагоприятными оказались участки транспортных функциональных зон города. Наблюдается тенденция угнетения двигательной активности инфузорий и ростовых показателей кресс-салата, снижения активности каталазы в городских почвах. Выявлен ряд чувствительности методов к комплексному загрязнению почвы: фитотест по *Lepidium sativum* > биотест по *Paramecium caudatum* > биотест по тест-системе «Эколюм» > активность почвенной каталазы. На примере клёна *Acer negundo* показан эффект фитоаккумуляции кадмия и свинца в коре.

Ключевые слова: городские территории, тяжелые металлы, нефтепродукты, биотестирование, почвенные ферменты, фитоаккумуляция.

Soil status assessment in urban areas by chemical and environmental toxicological methods. – Olkova A. S., Berezin G. I., and Ashikhmina T. Ya. – The ecological status of soils in an urbosystem was assessed in terms of the total content of heavy metals, their mobile forms, petroleum products, integrated toxicity, and soil catalase activity. Parts of the functional transport areas of the city have turned out to be the most disadvantaged areas. A tendency of suppression of the ciliate motor activity and the growth indicators of watercress, reduction of the catalase activity in urban soils are observed. The sensitivity sequence to complex soil contamination is as follows: a phytotest for *Lepidium sativum* > a bioassay for *Paramecium caudatum* > a bioassay by the “Ecolum” test-system > soil catalase activity. With the maple *Acer negundo* as an example, the phytoaccumulation effect of cadmium and lead in the crust is shown.

Key words: urban areas, heavy metals, petroleum products, bioassay, soil enzymes, phytoaccumulation.

DOI: 10.18500/1684-7318-2016-4-411-423

ВВЕДЕНИЕ

Уникальность городских экосистем, урбосистем зависит от истории их развития, ландшафтных особенностей, насыщенности и разнообразия техногенных объектов и других аспектов. Однако для большинства городов приоритетные загрязняющие вещества одинаковы за исключением специфических поллютантов, при-

сутствующих в выбросах, сбросах и отходах узкопрофильных промышленных предприятий. С этих позиций загрязнение соединениями тяжёлых металлов (ТМ) и нефтепродуктами характерно для почв (урбозёмов) любой городской территории.

Тяжёлые металлы, являясь загрязняющими веществами от объектов теплоэнергетики, многих отраслей добывающей и перерабатывающей промышленности, цветной и чёрной металлургии и даже коммунального хозяйства, аккумулируются в почвах. Максимальные превышения нормативов фиксируют в районах непосредственной добычи и переработки руд железа и цветных металлов. Например, нами были установлены высокие уровни загрязнения в районе завода ОАО «Электроцинк» (г. Владикавказ): превышения нормативов подвижных форм тяжёлых металлов составляло для меди 44,6, кадмия – 98, цинка – 260,9, свинца – 231,7 раз. В городах, не являющихся металлургическими центрами, концентрация ТМ в окружающей среде также растёт. В частности, в г. Калуга был выявлен опасный уровень загрязнения почв соединениями тяжёлых металлов: содержание свинца, цинка составляло более 60 мг/кг (Осина, 2012). В центре Стокгольма максимальное валовое содержание свинца достигло средних значений 104 мг/кг (Linde et al., 2001).

Загрязнение урбосистем нефтепродуктами стало серьёзной экологической проблемой из-за возрастающего количества автотранспорта, строительства развитой сети дорог, увеличения использования продуктов переработки нефти. При этом утвержденного норматива содержания нефтепродуктов в почвах до сих пор нет. Для оценки уровня загрязнения почв нефтепродуктами используют фоновое их содержание для районов, не ведущих добычу нефти (40 мг/кг) (Мусихина, 2009). В г. Москва содержание данных поллютантов в почвах достигает 754 мг/кг, в г. Самара – 1700 мг/кг, а в местах нефтедобычи в Казахстане – до 86000 мг/кг почвы (Ибрагимова, 2009).

Превышение действующих нормативов, а также фоновых значений не может в полной мере охарактеризовать экологическое состояние почв. Для оценки качества окружающей среды важна не только концентрация действующих веществ, но и, главным образом, производимый эффект, отклик живых организмов.

Известно, что невысокие дозы тяжёлых металлов стимулируют развитие микробного сообщества, затем по мере возрастания концентраций происходит частичное ингибирование и, наконец, полное его подавление. Достоверные изменения видового состава фиксируются при концентрациях ионов тяжёлых металлов в 50 – 300 раз выше фоновых (Орлов, 2002). Однако многие методы позволяют выявлять негативные тенденции при гораздо меньших значениях. Появляются необычные для нормальных условий, устойчивые к тяжёлым металлам виды миксомицетов (Лагаускас и др., 1981; Широких и др., 2009), наблюдается резкое снижение активности почвенных ферментов в ответ на загрязнение соединениями тяжёлых металлов (Kolesnikov et al., 2014).

Целью нашей работы стала диагностика состояния почв урбосистем (урбозёмов) на примере г. Киров на участках с разной функциональной нагрузкой по показателям содержания валовых и подвижных форм тяжёлых металлов и нефтепродуктов, с дальнейшим сопоставлением данных химического анализа с интеграль-

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

ной токсичностью почвы, её ферментативной активностью, а также способностью растительного покрова аккумулировать тяжелые металлы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы верхнего генетического горизонта почв отбирались в г. Киров. Природно-климатическая зона урбосистемы – южная тайга.

Пробы почв отбирались с участков городской территории с разной функциональной нагрузкой (рис. 1):

- промышленная зона (район ОАО «Кировский шинный завод»),

- транспортная (транспортная развязка «площадь Лепсе», район железнодорожного вокзала, перекресток крупных автодорог – Октябрьского проспекта и улицы Московской),

- жилая (Юго-Западный район г. Киров (ЮЗР) и район «Малые Чижы», отличающиеся низкой промышленной нагрузкой),

- рекреационная (Александровский сад и парк Дворца пионеров).

В качестве фонового участка был выбран суходольный луг с дерново-подзолистой супесчаной почвой, удаленный от города на 50 км.

На участках исследования кроме почвы отбирали образцы

растений: разнотравье, листья и кора клёна ясенелистного *Acer negundo* Linnaeus, 1753. Биомассу трав отбирали с площади исследуемых участков 2 м² скашиванием травостоя на высоте 3 см (ГОСТ 27262-87, 2002). Объединенные пробы листьев *A. negundo* составляли из биомассы здоровых листовых пластин, собранных с высоты ветвей 2.0 – 2.5 м по периметру кроны. Пробы коры *A. negundo* отбирались по окружности ствола на высоте 1.5 м, толщина стружки 2 – 3 мм.

Почвенные и растительные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния. Определение массовой доли ТМ в почве и растительных образцах (меди, цинка, никеля, кадмия и свинца) проводили атомно-абсорбционным методом (ФР.1.31.2012.135739, 2012; Методические указания по определению..., 1992). Содержание нефтепродуктов (НП) определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе «КН-2М» (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98..., 1998). Метод учитывает



Рис. 1. Участки отбора проб почв и растительности в г. Киров: 1 – район «Малые Чижы», 2 – Юго-Западный район, 3 – парк Дворца пионеров, 4 – Александровский сад, 5 – перекресток Октябрьского проспекта и ул. Московской, 6 – район железнодорожного вокзала, 7 – площадь «Лепсе», 8 – район ОАО «Кировский шинный завод»

алифатические и циклические углеводороды, доля которых в нефти достигает 90%.

Среди характеристик, отражающих интегральное состояние почв, были выбраны методы биотестирования, включая фитотестирование, а также определение активности каталазы почвы. Острую токсичность определяли по изменениям биолюминесценции бактериальной тест-системы «Эколюм» (ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04..., 2010) и хемотаксиса инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1838 (ФР.1.39.2015.19243, 2015). Фитотоксичность определяли по отношению к кресс-салату (*Lepidium sativum* Linnaeus, 1753). Метод широко используется в мировой практике (Method Guidance..., 2000). Критерием токсичности считали снижение длины корня и проростка, а также их биомассы более чем на 20% по сравнению с контролем (прокаленный песок) (ФР. 1.39.2006.02264..., 2006).

Активность почвенной каталазы определяли газометрическим методом по А. Ш. Галстяну (Галстян, 1978), показатель интерпретировали по шкале, приведенной в работе (Гришина и др., 1991).

Уровень загрязнения ТМ почвы оценивали по коэффициенту концентрации химического вещества, определяемому как отношение содержания элемента на исследуемом участке к его содержанию на фоновой территории. Далее рассчитывали суммарный показатель загрязнения (СПЗ) как сумму коэффициентов концентраций ТМ (Сагет и др., 1990; Корельская, Попова, 2012). Получившиеся СПЗ характеризовали степень загрязнения почв: более 128 – чрезвычайное загрязнение, 32–128 – опасное, 16–32 – умеренно опасное, менее 16 – допустимое загрязнение (Методические указания по оценке..., 1987).

Анализ результатов проводили с использованием стандартных методов описательной статистики, вычисляя среднее арифметическое (M), его ошибку (m) и стандартное отклонение (S). Проверку гипотез о математической значимости выявленных различий проводили по критерию Стьюдента с учетом уровней значимости (P), вычисленных для двух сравниваемых значений. Зависимость между содержанием тяжелых металлов и нефтепродуктов в почве и установленными показателями токсичности, а также между содержанием тяжелых металлов в почве и растительных образцах оценивали по коэффициенту корреляции Пирсона (r). Анализ данных выполнен в MS Excel 2010, Statistica 8.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основной тип почв в городе, в местах сформировавшегося растительного покрова, – дерново-подзолистый преимущественно легкого и среднего гранулометрического состава. Такие почвы отличаются малым содержанием органического вещества, низкой буферной способностью, что приводит к их невысокой устойчивости к антропогенным воздействиям (Глазовская, 1999; Олькова и др., 2009).

Основными источниками загрязнения окружающей среды в черте города является автотранспорт и промышленные предприятия, характерные для большинства средних и крупных городов: объекты пищевой промышленности, теплоэнергетики, машиностроения, производства строительных материалов. Функционируют предприятия, в спектре выбросов и сбросов которых присутствуют соединения

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

ТМ: ОАО «Кировский завод по обработке цветных металлов» (ОЦМ) и ОАО «Электромашиностроительный завод «Лепсе».

Анализ почвенных образцов. В почве фонового участка превышений предельно допустимых концентраций ТМ и фонового уровня нефтепродуктов не выявлено. Биотестирование, включая фитотестирование, контрольной пробы подтвердило отсутствие токсичности. Напротив, выявлена стимуляция тест-функций, что связываем с наличием биогенных элементов, переходящих в водную вытяжку из почвы. Такой эффект характерен для почв (Олькова, 2013). Активность каталазы близка к высокой.

Результаты исследования почв города отличались от фоновых значений. Приводим кратность установленного валового содержания ТМ нормативам в случае, если значение превышало 0.5 (табл. 1).

По результатам биотестирования наиболее неблагоприятными оказались участки с высокой транспортной нагрузкой, пробы с этих участков оказались токсичными для инфузорий (см. табл. 1). Это объясняется высоким уровнем загрязнения НП (до 270 мг/кг), а также содержанием ТМ: в районе перекрестка крупных магистралей превышен норматив по цинку и меди. В сравнении с большинством проб в образце с участка площади «Лепсе» обнаружено самое высокое содержание подвижных форм меди, хотя и в пределах нормы. Результаты подтверждаются другими методами. По показателю активности каталазы обсуждаемым пробам соответствовали самые низкие значения: 1.1 ± 0.2 мл O_2 /мин для образца с транспортной развязки «Лепсе» и 2.4 ± 0.2 мл O_2 /мин для образца с перекрестка крупных автомагистралей Октябрьского проспекта и улицы Московской, что достоверно отличается от значений фоновой территории ($P < 0.01$). В процессе фитотестирования наблюдалось достоверное угнетение роста корня в 2.6 – 3.2 раза ($P = 0.02$ для образца с транспортной развязки «Лепсе», $P = 0.04$ для перекрестка крупных автомагистралей).

Район железнодорожного вокзала также отличился высоким содержанием НП (250 ± 21 мг/кг). Здесь обнаружено самое высокое валовое содержание цинка (почти в 2 раза превышающее ПДК) с высокой долей подвижных форм: коэффициент подвижности более 50%. Показано, что почвы вблизи железных дорог, их ремонтных предприятий загрязняются техногенной пылью с оксидами металлов. Тормозные колодки поездов, стираясь, вносят в почвы вблизи железных дорог до 200 тыс. т металлов в год (Большаков и др., 1978).

Несмотря на такое загрязнение, в биотестах острая токсичность почвы в районе железнодорожного вокзала не выявлена. Только при фитотестировании отметили угнетение роста корня до 5.8 ± 0.7 ($P = 0.005$). Отсутствие высокой степени корреляции между содержанием загрязняющего вещества и токсическим эффектом показано авторами ранее при исследовании почв и водных объектов: причиной таких эффектов чаще всего становятся явления комплексобразования, специфические и неспецифические органо-минеральные взаимодействия, биоаккумуляция веществ (Марфенина, 1991; Никаноров, Трунов, 1999).

Селитебные районы города по большинству показателей отличались от фоновой территории. Юго-Западный район (ЮЗР) г. Киров имеет относительно дли-

Результаты исследования проб почвы г. Киров

Таблица 1

Функциональная зона	Участок отбора проб	Индексы токсичности		Активность катализаторов, мг О ₂ /мин	Длина корня, см	Кратность ПДК (ваговая форма)	Содержание нефтепродуктов, мг/кг
		<i>R_s calcidatum</i> , у.е.	Тест-система «Эколом», у.е.				
–	Контроль	$\frac{0,020 \pm 0,006}{0,01-0,02}$	0	$\frac{10,5 \pm 0,7}{10,0-11,3}$	$\frac{13,3 \pm 2,3}{11,1-15,6}$	–	$\frac{39,8 \pm 8}{31-47}$
		1 группа	0	высокая			
Селитренная	Слобода «Малые Чижки»	$\frac{0,12 \pm 0,09*}{0,07-0,16}$	$\frac{20,88 \pm 4,46*}{16,49-25,54}$	$\frac{3,7 \pm 0,4*}{3,3-3,7}$	$\frac{10,0 \pm 1,1**}{8,9-11,0}$	Zn 0,55	$\frac{97 \pm 13*}{83-109}$
		1 группа	II группа	средняя			
	Юго-Западный район	$\frac{0,40 \pm 0,10*}{0,31-0,45}$	0	$\frac{3,7 \pm 0,2*}{3,5-3,8}$	$\frac{8,9 \pm 0,8*}{8,3-9,8}$	Zn 1,04	$\frac{390 \pm 28*}{371-422}$
		II группа	I группа	средняя			
Рекреационная	Парк Дворца пионеров	$\frac{0,30 \pm 0,01*}{0,22-0,35}$	0	$\frac{4,1 \pm 0,7*}{3,4-4,7}$	$\frac{14,1 \pm 1,5}{12,5-15,4}$	Zn 0,71	$\frac{24 \pm 6}{20-31}$
		1 группа	I группа	средняя			
	Александровский парк	$\frac{0,24 \pm 0,08*}{0,15-0,30}$	0	$\frac{5,2 \pm 0,2*}{5,1-5,4}$	$\frac{8,7 \pm 1,7*}{7,1-10,5}$	Pb 1,7 Zn 1,5 Cu 0,65	$\frac{100 \pm 13*}{86-112}$
		1 группа	I группа	средняя			
Транспортная	Перекресток Октябрьского просп. – ул. Московской	$\frac{0,45 \pm 0,18*}{0,29-0,59}$	0	$\frac{2,4 \pm 0,2*}{2,0-2,4}$	$\frac{5,2 \pm 0,8*}{4,5-6,1}$	Zn 0,64 Cu 0,56	$\frac{270 \pm 21*}{247-289}$
		II группа	I группа	слабая			
	Железнодорожный вокзал	$\frac{0,22 \pm 0,04*}{0,18-0,25}$	0	$\frac{7,6 \pm 0,5*}{7,3-8,2}$	$\frac{5,8 \pm 0,7*}{5,1-6,4}$	Pb 0,87 Zn 1,9 Cu 0,75	$\frac{250 \pm 21*}{228-270}$
		1 группа	I группа	средняя			
Промышленная	Район площади «Ленсе»	$\frac{0,77 \pm 0,06*}{0,71-0,83}$	0	$\frac{1,1 \pm 0,2*}{0,9-1,2}$	$\frac{4,1 \pm 0,4*}{3,8-4,5}$	–	$\frac{97 \pm 14*}{82-109}$
		III группа	I группа	слабая			
	ОАО «Кировский шинный завод»	$\frac{0,27 \pm 0,08*}{0,17-0,31}$	0	$\frac{2,9 \pm 0,1*}{2,8-2,9}$	$\frac{8,5 \pm 2,1*}{6,5-10,6}$	Zn 2,4	$\frac{40 \pm 6}{33-45}$
		1 группа	I группа	слабая			

Примечание. ПДК ваговой формы: медь – 55 мг/кг, никель – 85 мг/кг, цинк – 100 мг/кг, свинец – 30 мг/кг, кадмий – 2 мг/кг (Предельно допустимые концентрации..., 2006); * – значение достоверно отличается от контроля ($p < 0,03$); ** – значение достоверно отличается от контроля ($p < 0,08$).

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

тельную историю развития по сравнению с районом «Малые Чижы». Застройка первого массово велась в 70 – 80 гг. прошлого века; в настоящее время район отличается развитой транспортной сетью. Возможно, это стало причиной самого высокого содержания нефтепродуктов среди исследованных образцов (390 ± 28 мкг/кг) и II группы токсичности по *P. caudatum*.

Район «Малые Чижы» – самый «молодой» из исследованных участков. Долгое время он считался окраиной города. Суммарный показатель загрязнения ТМ 4.2 ± 2.0 – один из самых низких (рис. 2), однако установлено подавление бактериальной биолюминесценции до индекса токсичности 20.9 ± 4.5 . Отметим, что это единственный участок, где проба оказывает токсическое действие на данную тест-систему. Такой результат отчасти можно объяснить строительством нового жилого комплекса, т.е. повышением антропогенной нагрузки.

Пробам селитебных районов соответствовали

относительно невысокие значения активности каталазы, приближающиеся к характеристике «слабая». Рост корня кресс-салата угнетен, при этом отличия от контрольной пробы менее выражены, чем для почв транспортной зоны ($P = 0.008$ для района «Малые Чижы» и $P = 0.003$ для ЮЗР против $P = 0.002$ для транспортной развязки «Лепсе»). Отметим, что жилые районы в большинстве городов приобретают полифункциональный характер использования, что отражается в состоянии компонентов окружающей среды (Рылова, 2003).

В пробе, отобранной в Александровском парке, несмотря на его рекреационную функцию, обнаружено самое высокое содержание свинца среди исследованных участков (52 ± 11 мг/кг), а также превышение норматива содержания валовой формы цинка в 1.5 раза (см. табл. 1). Это можно объяснить тем, в непосредственной близости к парку с 1797 г. до наших дней функционировала первая в г. Киров губернская типография, использовавшая длительное время свинцовые краски (Энциклопедия..., 1995).

Загрязнение рекреационных зон городов, имеющих длительную историю развития, не редкость. Парк в Нижнем Новгороде им. 1 Мая, заложенный в 1984 г., ныне располагается в районе с высокой плотностью промышленных объектов, что отразилось в повышении валового содержания ТМ, например, до 6.7 раз по цинку в сравнении с фоном (Дабахов, Чеснокова, 2010). В зеленых и парковых зонах г. Палермо (Италия) также обнаружено антропогенное накопление свинца, цинка, меди и сделано предположение о транспортных источниках загрязнения в качестве основных (Manta et al., 2002).

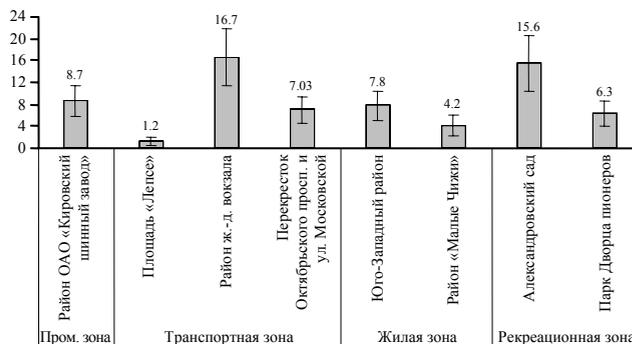


Рис. 2. Суммарные показатели загрязнения почв г. Киров в различных функциональных частях города

Рекреационная зона парка Дворца пионеров оказалась наиболее благополучной по полученным результатам. Это единственный участок, где по биомассе кресс-салата не наблюдается угнетение.

Анализируя содержание ТМ на всех участках, приходим к выводу, что близки к нормативным и сверхнормативным величинам чаще всего достигает накопление цинка. Доказано, что цинк связывается с органическим веществом почвы неспецифически и более подвижен по сравнению со свинцом и медью (Уфимцева, Терехина, 2005). Закономерность подтверждается: выявлено превышение ПДК подвижных форм цинка на участке с железнодорожной нагрузкой в 4.2 раза и в рекреационной зоне Александровского парка в 1.2 раза.

При анализе суммарных показателей загрязнения ТМ для исследуемых участков (см. рис. 2), подтвердилась основная тенденция: участок железнодорожного вокзала характеризуется «умеренно опасным загрязнением» (СПЗ выше 16), тогда как расчетный показатель для остальных районов свидетельствует о «допустимом загрязнении». СПЗ рекреационной зоны Александровского парка также очень высок в силу накопленного ранее загрязнения. Данные сопоставимы с ситуацией в других городах, не относящихся к металлургическим центрам: в г. Архангельск суммарные показатели загрязнения почвы ТМ достигают 16 – 32 условных единиц (Корельская, Попова, 2012).

Накопления меди и никеля не выявлено. Коэффициенты подвижности этих металлов для всех образцов почв оказались минимальными – около 2%, т. е. они практически полностью закреплены в почве в виде нелабильных форм.

Коэффициент корреляции Пирсона (r) между индексами токсичности, полученными в биотесте с инфузориями, и СПЗ оказался равным 0.36 ± 0.14 , тогда как связь индекса T и содержания нефтепродуктов оказалась гораздо теснее (0.77 ± 0.15).

Оценивая эффективность биологических методов, выбранных для оценки состояния почв, по критериям, предложенным А. Н. Крайнюковой (2004), приходим к выводу, что фитотестирование с помощью кресс-салата отличается высокой чувствительностью к загрязнению городских почв, в то же время экспресс-биотест по *P. caudatum* позволяет дать дифференцированную оценку степени токсичности образцов.

Анализ растительных образцов. Определяли содержание ТМ в растительных образцах исследуемых участков для того, чтобы установить взаимосвязь состояния почвы и растений. Полученные данные сравнивали с условным допустимым содержанием ТМ в сухом веществе растений, предложенным в работе А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас (2003). В табл. 2 указаны кратности установленных содержаний ТМ условному нормативу (от 0.5 и выше).

Практически все пробы растительных образцов характеризовались высокими концентрациями кадмия по сравнению с условно принятой нормой 0.05 – 0.2 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 2003). Например, в образцах разнотравья его концентрация варьировала от 0.15 ± 0.04 мг/кг (парк Дворца пионеров) до 0.5 ± 0.12 (перекресток Октябрьского просп. – ул. Московской). В пробах древесной коры, взятых у железнодорожного вокзала и вблизи площади «Лепсе», обнаружены максималь-

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

ные количества кадмия: 0.8 ± 0.20 и 0.75 ± 0.19 мг/кг соответственно. В районе перекрестка оживленных трасс в образцах трав и коре также обнаружено превышение условного допустимого содержания кадмия в 2.5 раза. Предположительно причиной этого могла стать высокая доля подвижных форм кадмия при нормативно допустимом его содержании в почве: коэффициент подвижности варьировал от $16.7 \pm 3.4\%$ на селитебном участке «Малые Чижы» до $30.4 \pm 5.1\%$ в рекреационной зоне Дворца пионеров. Этот факт привел к накоплению кадмия в среднем для исследованных участков до 0.24 ± 0.13 мг/кг в травянистой растительности, 0.23 ± 0.17 мг/кг в листьях *A. negundo* и 0.67 ± 0.10 мг/кг в его коре. Видим, что кора древесного растения в наибольшей степени аккумулирует соединения кадмия, что вполне закономерно.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в растительных образцах пробных площадок

Участок отбора проб	Кратность условному допустимому содержанию ТМ		
	Травянистый покров	Листья древесной растительности	Кора древесной растительности
Район «Малые Чижы»	–	Zn 1.73	–
Юго-Западный район	Pb 0.77 Zn 0.58 Ni 1.36 Cd 1.25	Pb 0.56 Cd 1.6 Zn 0.93	Pb 0.74 Ni 0.76 Cd 3.6
Парк Дворца пионеров	Cd 0.75	Pb 0.66 Ni 0.74 Cd 2.75	Zn 1.4 Ni 0.8 Cd 3.25
Александровский сад	Cd 0.75	–	Cd 3.25
Перекресток Октябрьского просп. – ул. Московской	Pb 0.55 Cu 0.58 Cd 2.5	Cd 0.75	Pb 0.66 Ni 0.74 Cd 2.5 Cu 0.67
Район железнодорожного вокзала	Pb 0.61 Zn 0.71 Ni 1.36 Cd 1.0	Cd 0.7	Pb 0.68 Ni 1.64 Cd 4.0 Cu 0.93
Площадь «Лепсе»	Ni 0.56 Cd 0.75	Cd 1,05	Pb 2.3 Ni 2.26 Cd 3.75 Cu 0.93
Район ОАО «Кировский шинный завод»	Cd 1.2	–	–

Примечание. Прочерк означает, что концентрация элементов меньше 0.5 нижнего предела условно допустимой нормы по А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас (2003).

Способность коры накапливать ТМ отмечается и при анализе концентраций других определяемых элементов. На многих участках кратность условному допустимому содержанию элементов для цинка, никеля, свинца, меди составляет около

1 и более. В литературе это объясняется более тесными геохимическими взаимоотношениями почв с многолетней древесной растительностью по сравнению с однолетними травами (Титоренко, Дегтярева, 2013).

В биомассе трав содержание кадмия, свинца и никеля близки к условным нормам, тогда как в образцах листьев *A. negundo* с большинства участков среднее содержание металлов не достигало половины критерия (см. табл. 2). Исключением стал кадмий, содержание которого в биомассе листьев варьировало от 0.1 ± 0.03 до 0.55 ± 0.14 мг/кг при норме по А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас (2003) $0.05 - 0.2$ мг/кг. Короткая вегетация листьев препятствует накоплению в них ТМ.

По данным других исследователей, именно кадмий, а также свинец и кобальт накапливаются в растениях городов, что показано на примере плодов шиповника (Русанов, Турлибекова, 2011). Имеются сведения, что кадмий извлекается растениями из почвы лучше по сравнению со свинцом, что подтверждено в модельных экспериментах (Линдиман и др., 2008).

Самые высокие коэффициенты корреляции выявили для зависимостей «валовое содержание цинка в почве – содержание цинка в пробах травянистой растительности» ($r = 0.65 \pm 0.2$), а также для зависимости «валовое содержание меди в почве – содержание меди в травянистом покрове» ($r = 0.6 \pm 0.22$). Отсутствие высокой корреляции в других случаях может говорить о том, что накопление ТМ в растениях зависит от множества факторов, кроме содержания данных элементов в почвах. Например, листья и кора растений могут подвергаться воздействию пылевидного и аэрозольного загрязнения атмосферы (Безуглая, Смирнова, 2008).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Урбосистемы становятся территориями, где под влиянием антропогенного пресса локально изменяются геохимические процессы. При этом система «почва – растение» ярко демонстрирует накопление приоритетных загрязняющих веществ в наиболее нагруженных функциональных частях города. Эти явления стали характерны для большинства городов, а не только относящихся к крупным промышленным центрам. На примере урбосистемы г. Киров нами показаны закономерности формирования химических и эколого-токсикологических характеристик городских почв:

1) несмотря на условность разделения современного города на функциональные части, для районов крупных транспортных развязок установлено максимальное суммарное загрязнение;

2) выявлена более тесная связь результатов биотестирования и содержания нефтепродуктов по сравнению с аналогичной зависимостью с содержанием тяжелых металлов;

3) используемые биологические методы можно расположить в ряд, отражающий их эффективность для оценки состояния городских почв:

фитотест по *L. sativum* > биотест по *P. caudatum* > биотест по тест-системе «Эколюм» > активность почвенной каталазы;

4) на примере клёна *Acer negundo* показано, что древесные растения накапливают ТМ в большей степени, чем травянистый покров; эффект фитоаккумуляции максимально выражен в отношении кадмия и свинца;

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

5) наибольшей способностью к накоплению ТМ отличилась кора древесной растительности по сравнению с биомассой листвы и разнотравья, что логично связано с жизненным циклом и дополнительным влиянием загрязнения воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Большаков В. А., Гальпер Н. Я., Клименко Г. А., Лычкина Т. И., Баишта Е. В. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. Обзорная информация. М. : ВНИИИи-ТЭИсельхоз, 1978. 54 с.

Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В. Воздух городов и его изменения. СПб. : Астерион, 2008. 253 с.

Галстян А. Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение. 1978. № 2. С. 107 – 113.

Глазовская М. А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям // Почвоведение. 1999. № 1. С. 114 – 124.

ГОСТ 27262-87 Корма растительного происхождения. Методы отбора проб // Комбикорма. Ч. 7. Корма растительные. Методы анализа. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. С. 3 – 9.

Гришина Л. А., Копцик Т. Н., Моргунов Л. В. Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. М. : Изд-во МГУ, 1991. 82 с.

Дабахов М. В., Чеснокова Е. В. Тяжелые металлы в почвах парков Заречной части Нижнего Новгорода // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 2010. № 2 (1). С. 109 – 116.

Ибрагимов С. Т. Биологическое диагностирование нефтезагрязненных почв месторождений Казахстана : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Алматы, 2009. 25 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 2003. 171 с.

Корельская Т. А., Попова Л. Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 1 – 17.

Крайнюкова А. Н. Использование биотестирования при оценке состояния компонентов окружающей среды и контроле источников их загрязнения в условиях Украины // Актуальные проблемы водной токсикологии : сб. ст. / под ред. Б. А. Флерова / Ин-т биологии внутренних вод РАН. Борок, 2004. С. 68 – 80.

Лагаускас А. Ю., Шляужене Д. Ю., Репечкене Ю. П. Действие антропогенных факторов на грибные сообщества почв // Микробные сообщества и их функционирование в почве. Киев : Наук. думка, 1981. С. 199 – 202.

Линдиман А. В., Шведова Л. В., Тукумова Н. В., Невский А. В. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы // Экология и промышленность России. 2008. № 9. С. 45 – 47.

Марфенина О. Е. Микробиологические аспекты охраны почв. М. : Изд-во МГУ, 1991. 118 с.

Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / Центр. ин-т агрохим. обслуживания сельского хозяйства. М., 1992. 62 с.

Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами № 4266-87. М. : Мин-во здравоохранения СССР, 1987. 23 с.

Мусихина Е. А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. М. : Академия естествознания, 2009. 137 с.

Никаноров А. М., Трунов Н. М. Внутриводоемные процессы и контроль качества природных вод / под ред. А. И. Бедрицкого. СПб. : Гидрометеоздат, 1999. 150 с.

Олькова А. С., Дабах Е. В., Кантор Г. Я., Ашихмина Т. Я. Картирование почвенного покрова и оценка устойчивости почв на территории санитарно-защитной зоны комплекса

объектов хранения и уничтожения химического оружия // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2009. № 2. С. 39 – 45.

Олькова А. С. Проблемы биотестирования почв по аттестованным методикам // Докл. по экологическому почвоведению. 2013. Вып. 18, № 1. С. 165 – 175.

Орлов Л. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М. : Высш. шк., 2002. 334 с.

Осина Д. Е. Пространственное распределение подвижных форм тяжелых металлов в почвах города Калуги // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер. Естественные науки. 2012. № 4. С. 128 – 134.

ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика измерения массовой доли нефтепродуктов в почве и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. Количественный химический анализ почв. М., 1998.

ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 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». М., 2010. 20 с.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06 // Бюл. нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, № 10, 06.03.2006, официальное издание : сб. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.

Русанов А. М., Турлибекова Д. М. Тяжелые металлы в плодах шиповника парков города Орска // Вестн. Оренб. гос. ун-та. 2011. № 12. С. 299 – 300.

Рылова Н. Г. Трансформация почвенного покрова в условиях промышленного города и ее воздействие на растительность (на примере г. Ижевска) : дис. ... канд. биол. наук. Ижевск, 2003, 125 с.

Саит Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М. : Недра, 1990. 335 с.

Титоренко В. А., Дегтярева Т. В. Биогеохимические связи и отношения в экосистемах города Ставрополя // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 – 4. С. 807 – 811.

Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб. : Наука. С.-Петербург. отд-ние, 2005. 339 с.

ФР.1.31.2012.135739. Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом. 2012.

ФР.1.39.2006.02264. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв («контактным» методом). 2006.

ФР.1.39.2015.19243. ПНД Ф Т 16.2:2.2-98 (изд. 2015 г.) Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». СПб. : СПЕКТР-М, 2015. 21 с.

Широких А. А., Широких И. Г., Устюжанин И. А., Колупаев А. В. Микроскопические грибы в городских почвах, загрязненных тяжелыми металлами // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 4. С. 39 – 45.

Энциклопедия Земли Вятской. Т. 4. История / сост. В. А. Бердинских. Киров : Изд-во «Обл. писательская организация», 1995. 528 с.

Kolesnikov S. I., Zharkova M. G., Kazeev K. Sh., Kutuzova I. V., Samokhvalova L. S., Naleta E. V., Zubkov D. A. Ecotoxicity assessment of heavy metals and crude oil based on biological characteristics of chernozem // Rus. J. of Ecology. 2014. Vol. 45, № 3. P. 157 – 166.

Linde M., Bengtsson H., Oborn I. Concentrations and pools of heavy metals in urban Stockholm, Sweden // Water, Air, and Soil Pollution: Focus. 2001. Vol. 1, № 3. P. 83 – 101.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Manta D.S., Angelone M., Bellanca A., Neri R., Sprovieri M. Heavy metals in urban soils : a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy // *The Science of the Total Environment*. 2002. Vol. 300, № 1 – 3. P. 229 – 243.

Method guidance and recommendations for whole effluent toxicity (WET) testing / United States Environmental Protection Agency. Washington, 2000. 60 p.

Rogers J. E., Li S. W. Effect of metals and other inorganic ions on soil microbial activity: soil dehydrogenase assay as a simple toxicity test // *Bull. Environmental Contamination and Toxicology*. 1985. Vol. 34, № 6. P. 858 – 865.