

в регионах, в которых, несмотря на низкую численность населения, масштаб загрязнения такой же из-за менее эффективной очистки сточных вод или недостаточно эффективной очистки отходящих от стационарных источников загрязняющих воздух веществ.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №15-17-30009).

Литература

1. Living planet report 2002 / Ed. L. Jonathan. World Wild Fund: Gland, 2002. 35 p.
2. Бобылев С.Н., Минаков В.С., Соловьёва С.В., Третьяков В.В. Эколого-экономический индекс регионов РФ. Методика и показатели для расчёта WWF России. М.: «РИА-Новости», 2012. 150 с.
3. Экологический рейтинг. Общероссийская общественная организация «Зелёный патруль» [Электронный ресурс] <http://greenpatrol.ru/ru/basic-page/zelenyy-patrul-istoriya-sozdaniya> (Дата обращения: 01.05.2015).
4. Россия в окружающем мире: 2003 / Под ред. Н.Н. Марфенина. М.: Изд-во МНЭПУ, 2003. 336 с.
5. Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.
6. Индикаторы устойчивого развития России (эколого-экономические аспекты) / Под ред. С.Н. Бобылева, П.А. Макеевко. М.: ЦПРИ, 2001. 220 с.
7. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП М.В. Филимонов, 2014. 560 с.

8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году» [Электронный ресурс]. http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3f1/doklad_2014.pdf (Дата обращения: 26.05.2017).

References

1. Living planet report 2002 / Ed. L. Jonathan. World Wild Fund: Gland, 2002. 35 p.
2. Bobylev S.N., Minakov V.S., Solovyov S.V., Tret'yakov V.V. Ecological and economic index of Russian regions. Methodology and indicators for the calculation of WWF Russia. Moskva: "RIA-Novosti", 2012. 150 p. (in Russian).
3. Ecological rating, Russian public organization "Green Patrol" [Internet resource]: <http://greenpatrol.ru/ru/basic-page/zelenyy-patrul-istoriya-sozdaniya> (Accessed: 01.05.2015) (in Russian).
4. Russia in the World: 2003 / Ed. N.N. Marfenin. Moskva: Izd-vo MNEPU, 2003. 336 p. (in Russian).
5. Tikunov V.S. Classifications in geography: Renaissance or fading? (The experience of formal classifications). Moskva-Smolensk: Izd-vo SGU, 1997. 367 p. (in Russian).
6. Indicators of sustainable development in Russia (ecological and economic aspects) / Eds. S.N. Bobylev, P.A. Makeenko. Moskva: CPRP, 2001. 220 p. (in Russian).
7. Regions and cities of Russia: an integrated assessment of the ecological state / Ed. N.S. Kasimov. Moskva: IP Filimonov M.V., 2014. 560 p. (in Russian).
8. State report "On the state and on the protection of the environment of the Russian Federation in 2010" [Internet resource]: http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3f1/doklad_2014.pdf (Accessed: 26.05.2017) (in Russian).

УДК 574.23

Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа

© 2017. Ю. Н. Зыкова¹, к. б. н., доцент, зав. отд. аспирантуры,
С. Г. Скугорева^{1,2,3}, к. б. н., магистрант, н. с., доцент,
Е. В. Товстик^{1,3,4}, к. б. н., магистрант, н. с., доцент,
Т. Я. Ашихмина^{2,3}, д. т. н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией,

¹ Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

³ Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

⁴ Зональный научно-исследовательский институт
сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а,
e-mail: orewek7@rambler.ru, skugoreva@mail.ru,
tovstik2006@inbox.ru, ecolab2@gmail.com

Объектами исследования были почвы г. Кирово-Чепецк и г. Слободской (Кировская область), отобранные на территориях с различной антропогенной нагрузкой: в промышленной, транспортной, селитебной и парковой зонах. Оценка степени токсичности отобранных образцов проводилась методами химического анализа и биотестирования с использованием высшего растения и цианобактерии (ЦБ).

Хроматографический анализ почвенных вытяжек показал, что максимальным содержанием ионов отличались вытяжки из проб почв, отобранных в г. Кирово-Чепецке в промышленной (ионы натрия, хлорид- и сульфат-ионы) и парковой (ионы кальция и нитрат-ионы) зонах. Кроме того, в большинстве почвенных образцов содержание подвижных форм марганца превышало ПДК.

Изучено влияние почвенных вытяжек на длину корней 3-х дневных проростков редиса сорта Жара и активность дегидрогеназы альгологически чистой культуры ЦБ *Nostoc paludosum* № 18. Результаты биотестирования оказались достаточно противоречивыми. Использование в качестве биотест-функции такого морфометрического показателя, как длина корней редиса показало эффект стимуляции. Вероятно, действие ТМ в опытных образцах почвы могло нивелироваться большим содержанием элементов питания для биотест-организмов (нитрат-ионы, ионы калия, кальция, ионы аммония).

В то же время клетки ЦБ в некоторых образцах оказались чувствительными к действию веществ, содержащихся в почвенной вытяжке. Выявлен явный дифференцированный ответ окислительно-восстановительного фермента ЦБ дегидрогеназы: от отсутствия угнетения до сильного подавления активности фермента (для образцов, содержащих повышенные количества ТМ и неорганических ионов).

Сопоставление данных биотестирования с данными химического анализа позволяет сделать вывод об эффективности использования в качестве тест-организма ЦБ. Однако, использование такой тест-функции, как длина корней 3-х дневных проростков редиса было не эффективно. Поэтому для фитотестирования состояния урбаноэмов требуется более тщательный подбор высших растений с учетом их вида, возраста, время экспозиции и др.

Ключевые слова: урбаноэмы, токсичность, биотестирование, редис, цианобактерии, тетразольно-топографический метод, содержание тяжёлых металлов, ионный состав.

Estimation of the state of urban soils by methods of biotesting using organisms of different systematic accessory and chemical analysis data

Yu. N. Zykova¹, S. G. Skugoreva^{1,2,3}, E. V. Tovstik^{1,3,4}, T. Ya. Ashikhmina^{2,3},

¹Vyatka State Agricultural Academy,

133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,

²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,

28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

³Vyatka State University,

36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

⁴N.V. Rudnitski Zonal North-East Agricultural Research Institute,

166a Lenin St., Kirov, Russia, 610007,

e-mail: orewek7@rambler.ru, skugoreva@mail.ru,

tovstik2006@inbox.ru, ecolab2@gmail.com

The object of the study was soils of Kirovo-Chepetsk and Slobodskoy (Kirov region) sampled in the territories with different anthropogenic load: in industrial, transport, residential and park areas. Assessment of toxicity level of the selected samples was carried out by chemical analysis and biotesting, using a higher plant and a cyanobacteria (CB).

Chromatographic analysis of soil extracts showed that the maximum content of ions was different from extracts from soil samples collected in Kirovo-Chepetsk in industrial (sodium ions, chloride, and sulfate ions) and park (calcium ions and nitrate ions) zones. In addition, in most soil samples the content of mobile forms of manganese exceeded the MPC.

The effect of soil extracts on the root length of 3-day radish seedlings of the species Zhara and dehydrogenase activity of the algologically pure culture of the CB *Nostoc paludosum* No. 18 was studied. The results of biotesting were quite contradictory. Using such a morphometric indicator as length of radish roots a biotest function showed the effect of stimulation. Probably, the effect of heavy metals (HM) in the experimental samples of soil could be leveled by the large content of nutrients for biotest organisms (nitrate ions, potassium ions, calcium, ammonium ions).

At the same time, CB cells in some samples were sensitive to action of substances contained in the soil extract. An explicit differential response of the oxidation-reduction enzyme of CB dehydrogenase was revealed: from its absence to a strong suppression of the enzyme activity (for samples containing elevated amounts of HM and inorganic ions).

Comparison of the data of biotesting with the data of chemical analysis allows to make a conclusion about the effectiveness of using CB as a test organism. However, using a test function such as root length of 3-day radish seedlings was not effective. Therefore, for phytotesting the state of urbanisms, a more careful selection of higher plants is required, taking into account their species, age, exposure time, etc.

Keywords: urbanozymes, toxicity, biotesting, radish, cyanobacteria, tetrazol-topographic method, content of heavy metals, ionic composition.

В настоящее время использование термина «почва», как естественно-исторического органо-минерального тела, для территории любого города становится практически не применимым. Естественные ненарушенные почвы остались лишь в виде «островков» в городских лесах и лесопарках. На территории городов формируются специфические образования – урбанозёмы, которые отличаются от естественных почв как структурой, так и выполняемыми функциями [1]. Строительство различных предприятий, увеличение протяжённости авто- и железных дорог, применение противогололёдных реагентов, действие атмосферных осадков и сточных вод приводят к увеличению антропогенной нагрузки на почвенный покров городов [2]. Урбанозёмы характеризуются неоднородностью, смещением горизонтов и значительной степенью загрязнения промышленными, автотранспортными выбросами, а также бытовым и строительным мусором.

Наиболее загрязнены тяжёлыми металлами (ТМ) почвы вблизи крупных автодорог, а также промышленных предприятий (транспортная и промышленная зоны). Менее загрязнённые участки на территории городов встречаются в парках, лесопарках и на дворовых территориях (парковая и селитебная зоны) [1, 3]. Городские почвы являются накопителями всех видов поллютантов, поэтому, наряду с химико-аналитическими исследованиями, для более полного экологического мониторинга необходимо проводить биотестирование урбанозёмов с использованием тест-организмов различной систематической принадлежности.

В связи с этим целью данной работы было проведение химического анализа городских почв с различной антропогенной нагрузкой (г. Кирово-Чепецк и г. Слободской) и сопоставление полученных данных с результатами биотестирования, проведённого с использованием тест-организмов разной систематической принадлежности.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования были почвы наиболее крупных районных центров Кировской области г. Кирово-Чепецк и г. Слободской, отобранные на территориях с различной антропогенной нагрузкой: промышленная, транспортная, селитебная и парковая зоны, с различной удалённостью друг от друга (рис. 1, 2). Отбор проб проводили в августе 2015 г. на участках г. Кирово-Чепецка, расположенных в транс-

портной (1), селитебной (2), промышленной (6) и парковой зонах (7); г. Слободского в транспортной (8), селитебной (3), промышленной (5) и парковой зонах (4).

Отбор образцов производили на соответствующих территориях из верхних горизонтов почвы с глубины 0–10 см. Дополнительно для исследования с каждой указанной территории были отобраны образцы почв с поверхностными разрастаниями водорослей и цианобактерий (ЦБ).

В ходе химического анализа почв определяли кислотность солевой вытяжки потенциометрическим методом [4], содержание подвижного фосфора – методом Кирсанова в модификации ЦИНАО [5] и нитратного азота – методом ЦИНАО [6]. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии определяли содержание подвижных форм ТМ, извлекаемых аммонийно-ацетатным буфером [7]. Кроме того, проводили измерение электропроводности кондуктометрическим методом и концентрации неорганических ионов в почвенной вытяжке (соотношение почва : дистиллированная вода равно 1:4) методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер». Для биотестирования почвенной вытяжки в качестве тест-организмов использовали как макро-, так и микроорганизмы. В первом случае использовали проростки редиса *Raphanus sativus* сорта Жара. Проверяемой тест-функцией служила длина корня и эффект торможения/стимуляции. Для определения степени токсичности проб почвенной вытяжки измеряли среднюю длину корня 3-х дневных проростков редиса. Эффект торможения/стимуляции (Е) рассчитывали по формуле:

$$E = (D_k - D_o) / D_k \cdot 100\%,$$

где D_k и D_o – длина корня в контроле и в опытных вариантах [8].

Во втором случае тест-организмом служила альгологически чистая культура ЦБ *Nostoc paludosum* № 18. В качестве тест-функции выбрали определение активности дегидрогеназы тетразольно-топографическим методом с дифференцировкой клеток на живые и нежизнеспособные [9]. Для этого гомогенизированную культуру ЦБ после отмывания водой выдерживали 3 часа в 0,075% растворе трифенилтетразолий хлорида (ТТХ). За этот период бесцветный ТТХ, акцептируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в 2,3,5-трифенилформаза, имеющий малиновую или красную окраску. Чтобы определить

соотношение жизнеспособных и неживых клеток в культуре, готовили мазки на предметных стеклах (по 9 мазков на каждый вариант опыта) и с помощью иммерсионного микроскопа просчитывали жизнеспособность не менее 500 клеток в каждой повторности.

В качестве контроля для биотестирования использовали артезианскую воду «Ключ здоровья».

Результаты и их обсуждение

Значения обменной кислотности у почвенных образцов изменялись в пределах от 6,6 до 7,1, что соответствует нейтральной реакции среды (табл. 1).

Содержание нитратного азота и подвижного фосфора в почвах сильно варьировало. В почвенных образцах участков №№ 5 и 8 нитратный азот и подвижный фосфор используемыми методами анализа не были обнаружены. Образцы участков №№ 2–4 характеризовались очень низким уровнем обеспеченности (< 10 мг/кг), образец участка № 1 – средним уровнем (15–20 мг/кг), образцы участков

№ 6–7 – высоким уровнем обеспеченности для растений (> 20 мг/кг).

В образце участка № 6 содержание подвижного фосфора соответствовало очень низкому уровню обеспеченности (< 25 мг/кг), №№ 1 и 4 – среднему (51–100 мг/кг), №№ 2, 3 и 7 – высокому уровню обеспеченности для растений.

В ходе химического анализа установлено, что превышение содержания марганца в изучаемых пробах характерно как для почв, отобранных в г. Кирово-Чепецке, так и для почв г. Слободской, исключение составили участок у автодороги г. Кирово-Чепецк (№ 1) и в парковой зоне г. Слободской (№ 4). Вероятно, повышенное содержание подвижного марганца в почве обусловлено высокой влажностью почвы, преобладанием восстановительных процессов в почве и вследствие этого переходом марганца в двухвалентное состояние.

Небольшое превышение уровня ПДК по цинку обнаружено в почве промышленной зоны г. Кирово-Чепецк (№ 6) и транспортной зоны г. Слободской (№ 8). Содержание подвижных форм свинца в 5 раз выше ПДК

Таблица 1

Показатель кислотности, содержание нитратов и подвижного фосфора в почвах

№ участка	pH _{ксл} *	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг
1	6,9	15,2±1,5	59±18
2	6,9	6,2±0,6	230±50
3	7,0	1,5±0,5	230±50
4	7,0	2,1±0,6	53±16
5	7,1	н.о.	н.о.
6	7,0	22,5±2,3	18±6
7	6,6	34,2±3,4	175±35
8	7,1	н.о.	н.о.

Примечание: * измерения кислотности выполнены с отклонением результатов повторных измерений от среднего арифметического не более 0,1 ед. рН, н.о. – ниже предела обнаружения используемого метода.

Таблица 2

Содержание подвижных форм ТМ в почве, мг/кг

№ участка	Железо	Кобальт	Цинк	Марганец	Медь	Свинец	Кадмий	Никель
1	5,3±0,7	1,30±0,18	14,0±2,3	88±10	1,44±0,17	2,36±0,25	0,135±0,021	0,28±0,06
2	н.о.	0,72±0,15	6,4±1,1	143±16	0,50±0,07	1,67±0,18	0,130±0,020	0,130±0,028
3	29,8±3,7	0,89±0,19	11,5±1,9	110±13	0,72±0,08	33,4±3,5	0,040±0,006	0,34±0,07
4	21,7±2,7	0,76±0,16	12,7±2,1	81±9	0,84±0,10	5,6±0,6	0,44±0,07	0,46±0,10
5	56±7	0,84±0,18	19,0±3,1	154±18	1,66±0,19	3,62±0,38	0,070±0,011	1,12±0,16
6	35±4	1,08±0,15	27±4	123±14	2,21±0,25	2,39±0,25	0,050±0,008	1,67±0,23
7	35±4	0,59±0,12	4,7±0,8	132±15	0,76±0,09	1,17±0,12	0,050±0,008	0,56±0,12
8	7,4±0,9	н.о.	27±4	244±28	1,10±0,13	4,3±0,5	0,115±0,018	0,57±0,12
ПДК	1000	5	23	100	3	6	0,2	4

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК, н.о. – ниже предела обнаружения метода.

Таблица 3

Содержание подвижных форм ТМ в почве с поверхностными цианобактериальными разрастаниями, мг/кг

№ участка	Кадмий	Свинец	Медь
1	0,30±0,10	11,2±3,0	0,74±0,20
2	но	1,9±0,6	0,84±0,24
3	но	1,8±0,7	0,48±0,14
4	но	0,38±0,15	1,2±0,4
5	1,06±0,31	0,60±0,21	0,72±0,21
6	0,62±0,12	2,2±0,7	2,8±0,8
7	0,020±0,006	0,19±0,08	0,65±0,21
8	но	0,54±0,22	0,15±0,05
ПДК	0,2	6	3

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК, н.о. – ниже предела обнаружения метода.

Таблица 4

Электропроводность (мкСм/см) и концентрация неорганических ионов (мг/л) в почвенной вытяжке 1:4

№ участка	Э	pH*	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻
1	200±15	7,4	4,15±0,6	1,34±0,13	3,8±0,6	2,6±0,5	40±4	1,75±0,17	26,8±2,8	14,4±1,4	н.о.
2	166±13	7,3	1,96±0,29	2,00±0,20	5,5±0,8	2,2±0,4	29,8±3,0	0,71±0,07	6,9±1,0	3,16±0,32	1,2±0,12
3	150±11	6,9	11,4±1,7	н.о.	4,3±0,7	2,7±0,5	22,2±2,2	3,24±0,32	0,25±0,04	7,0±0,7	н.о.
4	243±18	7,0	5,5±0,8	н.о.	6,9±1,0	2,7±0,5	48±5	2,80±0,28	6,5±1,0	20,6±2,1	н.о.
5	160±12	7,6	5,0±0,8	2,14±0,21	5,0±0,8	2,8±0,6	26,0±2,6	2,42±0,24	0,67±0,1	11,7±1,2	н.о.
6	1050±50	7,6	225±34	н.о.	4,4±0,7	4,3±0,4	28,1±2,8	209±21	44±7	45±4	1,4±0,14
7	476±24	7,4	7,7±1,2	2,14±0,21	8,0±1,2	5,0±0,5	72±7	6,0±0,6	144±22	24,6±2,5	н.о.
8	274±21	7,7	10,2±1,5	н.о.	6,7±1,0	4,8±0,5	46±5	1,45±0,14	0,39±0,06	19,1±1,9	н.о.

Примечание: Э – электропроводность, жирным шрифтом выделены максимальные значения, н.о. – ниже предела обнаружения метода; * – измерения кислотности выполнены с отклонением не более 0,1 ед. pH.

определено в почве дворовой территории г. Слободского (№ 3), что может быть связано с близостью расположения стоянки автотранспорта. В целом, при анализе содержания подвижных форм ТМ в исследуемых образцах почв нет значительного превышения уровня ПДК (табл. 2).

При сравнительном анализе исследуемых зон г. Кирово-Чепецк и г. Слободской можно отметить, что содержание подвижных форм большинства ТМ находится примерно на одном уровне. Однако, для урбанозёмов г. Слободского обнаружено несколько большее содержание подвижных форм свинца, кадмия и цинка по сравнению с г. Кирово-Чепецк.

Естественным барьером проникновения ТМ в глубинные слои почвы могут служить поверхностные цианобактериальные разрастания в связи с тем, что они обладают высокой сорбционной способностью по отношению к ТМ [3]. При анализе проб с цианобактериальными разрастаниями было выявлено не-

большое превышение уровня ПДК кадмия в исследуемых образцах почвы. Вероятно, ЦБ аккумулируют ионы ТМ в своей биомассе.

О различной автотранспортной нагрузке исследуемых городов свидетельствует содержание подвижных форм свинца в почве с цианобактериальными разрастаниями. В транспортной зоне г. Кирово-Чепецка (№ 1) почва содержала свинца в 2 раза больше ПДК и в 21 раз больше, чем в транспортной зоне г. Слободской (№ 8) (табл. 3). По содержанию подвижных форм кадмия установлено превышение ПДК как в промышленной зоне г. Кирово-Чепецка (№ 6), так и г. Слободского (№ 5).

Электропроводность почвенных вытяжек служит показателем общего содержания ионов. Для исследуемых почвенных вытяжек этот показатель варьировал от 48 до 1050 мкСм/см (табл. 4). Наибольшие значения электропроводности установлены для образцов участков № 6 и № 7. По показателю кислотности нейтральными оказались вытяж-

Таблица 5

Влияние почвенной вытяжки на длину корня редиса

№ участка	Длина корня редиса, см	Эффект торможения/стимуляции
1	10,0±1,1*	1,6
2	9,7±0,9*	1,6
3	9,6±1,0*	1,5
4	7,7±0,8*	1,2
5	10,0±0,8*	1,6
6	9,0±0,8*	1,4
7	7,1±0,6	1,1
8	9,4±0,8*	1,5
Контроль	6,3±0,6	–

Примечание: в таблице приведены средние арифметические значения и ошибки средних; * – различия средних с контролем достоверны при $p \leq 0,001$.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между содержанием ионов ТМ и длиной корня редиса

Co	Mn	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	Ni
0,34	0,47	0,58	0,56	-0,69	0,26	-0,06	0,27

Таблица 7

Жизнеспособность клеток цианобактерий исследуемых почв

№ участка	Жизнеспособность (ЖСП) клеток ЦБ, %	
	ЖСП	НеЖСП
1	98	2
2	90	10
3	96	4
4	85	15
5	84	16
6	85	15
7	92	8
8	82	18
Контроль	98	2

ки из образцов участков №№ 3 и 4, остальные вытяжки имели слабощелочную реакцию среды.

Изучение ионного состава почвенных вытяжек, используемых для биотестирования, показало, что большинство наибольших значений концентрации неорганических ионов характерно для промышленной зоны г. Кирово-Чепецка (№ 6). Это ионы натрия, хлорид- и сульфат-ионы, концентрация которых была существенно выше, чем в других исследуемых образцах. Максимальным было содержание ионов кальция и нитрат-ионов в почвенной вытяжке участка № 7, отобранного в парковой зоне г. Кирово-Чепецка. Стоит отметить, что ионы калия, аммония, кальция, нитрат-ионы служат источником питания растений и ЦБ. Поэтому их повышенное содержание в почвенной вытяжке может стимулировать рост и процессы жизнедеятельности выделенных тест-организмов.

Биотестирование с использованием семян редиса не выявило эффекта торможения ни в одном из образцов почвы, отобранных на участках с различной антропогенной нагрузкой (табл. 5). Более того, во всех исследованных образцах, за исключением участка № 7, длина корня 3-х дневных проростков редиса была достоверно выше, чем в контрольном варианте.

В целом, при использовании в качестве биотеста проростков редиса негативного влияния почвенных вытяжек на морфометрические параметры не выявлено, что подтверждается отсутствием корреляционной связи между содержанием ионов ТМ в почвенных вытяжках и длиной корня редиса. Максимальный коэффициент корреляции, характерный для цинка, меди, железа соответствует среднему уровню (табл. 6).

Отсутствие сильного токсичного эффекта почвенных вытяжек подтверждается ре-

зультатами биотестирования с использованием клеток ЦБ. Максимальное снижение уровня жизнеспособных клеток было обнаружено при тестировании почвенных образцов транспортной (№ 8), промышленной (№ 5) и парковой (№ 4) зон г. Слободского, а также промышленной зоны г. Кирово-Чепецка (№ 6), в которых процент погибших клеток колебался от 15 до 18% (табл. 7). Полное отсутствие токсического эффекта выявлено для участка № 1, где количество жизнеспособных клеток аналогично контрольному варианту. Незначительное снижение жизнеспособности клеток *Nostoc paludosum* (от 4 до 10%) зарегистрировано на участках №№ 3, 7 и 2.

Заключение

Объектами исследования были почвы г. Кирово-Чепецк и г. Слободской (Кировская область), отобранные на территориях с различной антропогенной нагрузкой: в промышленной, транспортной, селитебной и парковой зонах. Оценка степени токсичности отобранных образцов проводилась методами химического анализа и биотестирования с использованием высшего растения и ЦБ.

В ходе проведённого исследования установлено, что в почвенных образцах, отобранных в промышленной, транспортной, селитебной и парковой зонах г. Кирово-Чепецка и г. Слободской, отмечается повышенное относительно ПДК содержание ионов марганца. Небольшое превышение уровня ПДК по свинцу в некоторых образцах, объясняется местом отбора проб. Участки, где было обнаружено превышение ПДК по содержанию данного металла, находятся в непосредственной близости от автодорог, которые являются основным источником загрязнения соединениями свинца. По другим исследуемым ТМ не отмечали превышения ПДК.

Хроматографический анализ почвенных вытяжек показал, что максимальным содержанием ионов отличались вытяжки из проб почв, отобранных в г. Кирово-Чепецке в промышленной (ионы натрия, хлорид- и сульфат-ионы) и парковой (ионы кальция и нитрат-ионы) зонах.

Изучено влияние почвенных вытяжек на длину корней 3-х дневных проростков редиса сорта Жара и активность дегидрогеназы альгологически чистой культуры ЦБ *Nostoc paludosum* № 18. Результаты биотестирования оказались достаточно противоречивыми. Использование в качестве биотест-функции та-

кого морфометрического показателя как длина корней редиса показало эффект стимуляции. Вероятно, действие ТМ в опытных образцах почвы могло нивелироваться большим содержанием элементов питания для биотест-организмов (нитрат-ионы, ионы калия, кальция, ионы аммония).

В то же время клетки ЦБ в некоторых образцах оказались чувствительными к действию веществ, содержащихся в почвенной вытяжке. Выявлен явный дифференцированный ответ окислительно-восстановительного фермента ЦБ дегидрогеназы: от отсутствия ингибирования до сильного подавления активности фермента (для образцов, содержащих повышенные количества ТМ и неорганических ионов).

Сопоставление данных биотестирования с данными химического анализа позволяет сделать вывод об эффективности использования в качестве тест-организма ЦБ. Однако, использование такой тест-функции, как длина корней 3-х дневных проростков редиса было не эффективно. Поэтому для фитотестирования состояния урбаноэмов требуется более тщательный подбор высших растений с учётом их вида, возраста, время экспозиции и др.

Литература

1. Особенности урбэко систем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. 282 с.
2. Трояновская Е.С., Абросимова О.В., Тихомирова Е.И. Оценка состояния почв городских территорий методом комплексного биотестирования // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 2. С. 32–36.
3. Зыкова Ю.Н. Комплексы водорослей, цианобактерий и грибов городских почв и их реакции на действие поллютантов: Автореф. ... канд. биол. наук. М., 2013. 22 с.
4. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.
5. ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 7 с.
6. ГОСТ 26488-85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 1985. 4 с.
7. ФР.1.31.2007.03683. Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах природных, питьевых и сточных вод атомно-абсорбционным методом. М., 2007. 13 с.
8. Биотест-системы для задач экологического контроля: Методические рекомендации по практичес-

кому использованию стандартизованных тест-культур / Под ред. В.А. Тереховой и др. М.: Доброе слово, 2014. 48 с.

9. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И., Ашихмина Т.Я. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28.

References

1. Features of urboecosystems of the subzone of southern taiga of the European North-East / Eds. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva. Kirov: Izd-vo VyatGGU, 2012. 282 p. (in Russian).

2. Troyanovskaya E.S., Abrosimova O.V., Tikhomirova E.I. Assessment of the state of soils in urban areas by the method of complex biotesting // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2011. No. 2. P. 32–36 (in Russian).

3. Zyкова Yu.N. Complexes of algae, cyanobacteria and fungi of urban soils and their reaction to the action of pollutants: Avtoref. ... kand. biol. nauk. Moskva. 2013. 22 p. (in Russian).

4. GOST 26483-85. Preparation of salt extract and determination of its pH according to the method of CINAО. Moskva: USSR State Committee for Standards, 1985. 5 p. (in Russian).

5. GOST R 54650-2011. Soil. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the method of Kirsanov in the modification of CINAО. Moskva: Standardinform, 2013. 7 p. (in Russian).

6. GOST 26488-85. Soil. Determination of nitrates by the method of CINAО. Moskva: Standardinform, 1985. 4 p. (in Russian).

7. FR.1.31.2007.03683. Method of measurement of mass fractions of toxic metals in samples of natural, drinking, and waste water by atomic absorption method. Moskva, 2007. 13 p. (in Russian).

8. Biotest-systems for environmental control tasks: Methodological recommendations on the practical use of standardized test cultures / Eds. V.A. Terekhova et al. Moskva: Dobroye slovo, 2014. 48 p. (in Russian).

9. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Fokina A.I., Ashikhmina T.Ya. The use of a tetrazol-topographic method for determining dehydrogenase activity of cyanobacteria in contaminated media // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2008. No. 2. P. 23–28 (in Russian).

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», проводимой в рамках Года экологии в Российской Федерации, которая будет проходить в г. Кирове 4–6 декабря 2017 г.

Конференцию организуют и проводят Институт химии и экологии Вятского государственного университета и лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного университета.

Тематика и основные направления работы конференции:

1. Биологический мониторинг природных и техногенных систем.
2. Методы биодиагностики в оценке качества окружающей среды.
3. Экология растений и животных и их значение в оценке состояния окружающей среды.
4. Экология микроорганизмов и их значение в оценке состояния окружающей среды.
5. Химия и экология почв.
6. Здоровье человека как индикатор состояния окружающей среды.
7. Социальная экология, экологическое образование и культура.

Контактные адреса и телефоны:

610002, г. Киров, ул. Ленина, 113, Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ, телефон/факс (8332) 37-02-77, e-mail: ecolab2@gmail.com. Ученый секретарь оргкомитета – Домнина Елена Александровна
Технический секретарь – Кардакова Евгения Михайловна