

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

© 2011 С.М. Чеснокова, Е.Ю. Алхутова

Владимирский государственный университет

Поступила в редакцию 14.04.2011

Предложены методики оценки устойчивости почв урбанизированных территорий, загрязненных тяжелыми металлами.

Ключевые слова: *почвы, тяжелые металлы, нитрифицирующая способность, буферность, устойчивость*

Почвы городских территорий выполняют важные средообразующие и протекторные функции: регулируют газовый состав атмосферного воздуха, депонируют и трансформируют вещества природного и антропогенного происхождения, являются защитным барьером от вертикального проникновения химических и биологических загрязнителей. Почвы являются субстратом для произрастания зеленых насаждений и средой обитания педобионтов. С участием почв в антропоэкосистемах протекают биохимические циклы важнейших биогенных элементов и трансформация ксенобиотиков. Высокий уровень техногенного загрязнения приводит к изменению физико-химических и биологических характеристик и нарушению экологических функций почв.

**Объектом исследования** явились почвы г. Владимира – крупного промышленного и административного центра ЦФО России. Основные источники загрязнения окружающей среды города – предприятия машиностроения и приборостроения, расположенные в черте города, ТЭЦ и автотранспорт. При комплексной оценке пространственно-временной динамики загрязнения территории г. Владимира [1, 2] выявлено, что приоритетными загрязнителями почв являются тяжелые металлы (ТМ). Они накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах, и медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. Периоды полувыведения составляют: для цинка – от 70 до 510 лет, для кадмия – от 13 до 110 лет, для меди – от 310 до 1500 лет, для свинца – от 740 до 5900 лет, для ртути – порядка 850 лет [3].

*Чеснокова Светлана Михайловна, кандидат химических наук, профессор кафедры экологии. E-mail: chesnokovasm@mail.ru*

*Алхутова Екатерина Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры экологии. E-mail: konfvladimir@mail.ru*

**Цель работы:** оценка устойчивости почв урбанизированных территорий к загрязнению тяжелыми металлами.

По результатам мониторинга почв, проведенного в 1990-1991 и 2008-2009 гг. [2] установлено, что на территории города сформировались полиметаллические геохимические аномалии, приуроченные к центру города и к территориям промышленных предприятий, ТЭЦ и автомагистралям с интенсивным движением транспорта (рис. 1).

В целом уровень загрязнения почв ТМ по сравнению с 1990-1991 гг. изменился сравнительно мало, что связано со значительным снижением темпов промышленного производства в городе. В настоящее время суммарный показатель загрязнения почв ( $Z_c$ ) в зонах геохимических аномалий варьирует от 3,8 до 49. По величине коэффициентов концентрации ( $K=C_i/C_{\phi}$ ) металлы-загрязнители почв города располагаются в порядке:  $Pb > Cu > Zn > Cr(III) > Ni > Co$ .

Опасность ТМ в почвах городских ландшафтов зависит от их подвижности и способности к миграции в сопредельные среды, а также от способности ингибировать рост и развитие зеленых насаждений, играющих важную роль в оздоровлении городской среды. Токсический эффект ТМ связан также с подавлением деятельности микробиоценоза, участвующего в трансформации веществ, поступающих в почву. Подвижность ТМ зависит от кислотности почвы, содержания в ней гумуса, тонкодисперсных частиц, карбонатов, оксидов железа и алюминия и ее буферности к различным факторам [4]. Исходя из этого, для оценки устойчивости почв г. Владимира к ТМ использованы следующие характеристики: буферность к кислотам и ТМ, фитотоксичность, целлюлозолитическая активность и нитрифицирующая способность.

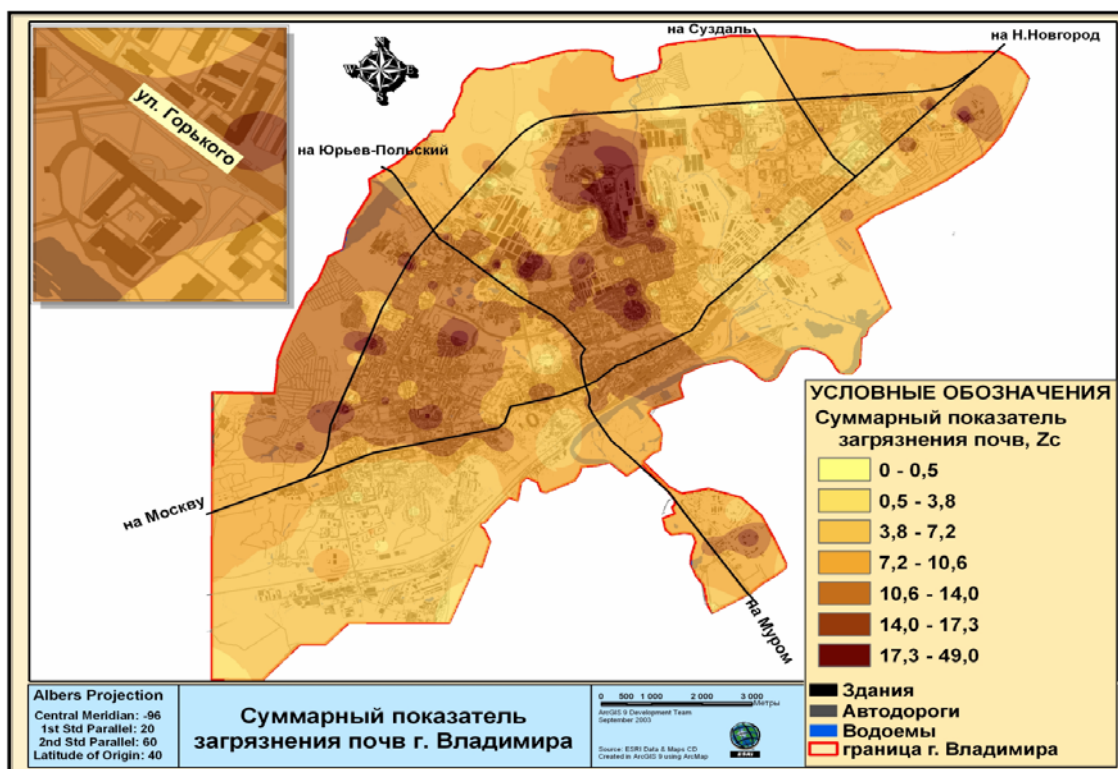


Рис. 1. Уровень загрязнения почв г. Владимира тяжелыми металлами по суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$ )

Буферность почв к кислотам определяли по величине изменения активной кислотности ( $\Delta pH$ ) водной вытяжки после добавления 1 ммоль хлороводородной кислоты на 100 г воздушно-сухой почвы [2]; кислотность ( $pH$ ) измеряли на универсальном иономере «Эксперт-001». Для оценки буферности почв к ТМ использовали шкалу буферности, разработанную В.Б. Ильиным [4]. Фитотоксичность почв оценивали по ингибированию прорастания семян дикорастущих и сельскохозяйственных растений в почвенной вытяжке [5]. Целлюлозолитическую активность почв определяли аппликационным методом [5]. Для определения нитрифицирующей способности в почву вносили сульфат аммония и известь, увлажняли до 65% общей влагоемкости и компостировали 12 суток при температуре 28°C [5]; концентрацию нитрат-ионов в почвенной вытяжке по окончании срока компостирования измеряли потенциометрически на универсальном иономере «Эксперт-001» с нитрат-селективным электродом. Определение валового содержания ТМ в почве проводили рентгеноспектральным флуоресцентным методом на приборе «Spectroscan-МАКС» [6].

Выявлено, что почвы города слабокислые, близкие к нейтральным, активная кислотность ( $pH_{H_2O}$ ) варьирует от 6,1 до 7,2, гидролитическая кислотность ( $H_T$ ) – от 0,5 до 1,6 ммоль/100 г, содержание гумуса – от 0,3 до 3,8%.

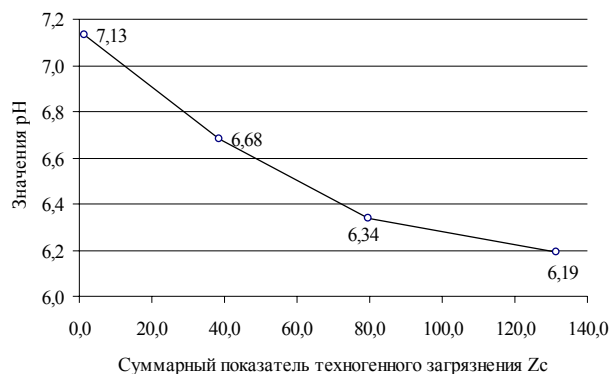
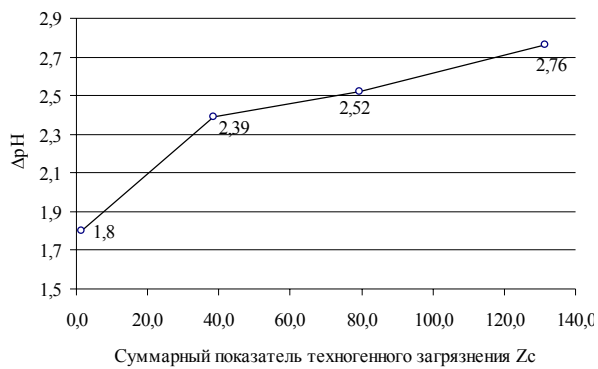


Рис. 2. Зависимость активной кислотности от показателя техногенного загрязнения

Буферность почв города к кислотам изменяется в широких пределах – от 0,5 до 2,8. Наиболее низкой буферностью к кислотам ( $\Delta pH$  2,8) характеризуются почвы промышленных зон ( $Z_c$  30-49). Установлено, что при возрастании уровня загрязнения почв тяжелыми металлами увеличивается их кислотность (рис. 2) и снижается буферность к кислотам (рис. 3). Исходя из этого, можно говорить о снижении протекторных свойств почв вследствие значительного роста подвижности ТМ. Буферность почв г. Владимира к ТМ по шкале Ильина В.Б. [4] средняя для металлов, подвижных в кислой среде (30-41,5 балла) и низкая для металлов, подвижных в щелочной среде (1,5-11,5 балла).



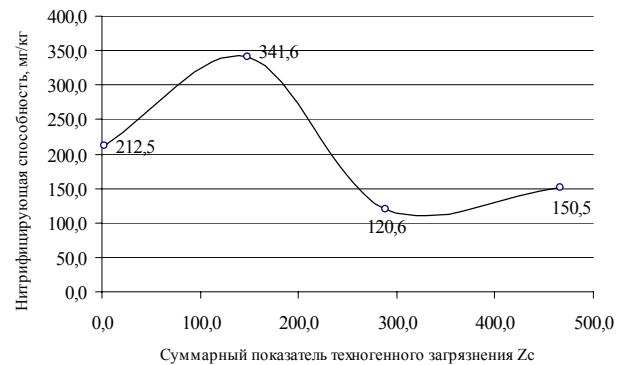
**Рис. 3.** Буферность почв к кислотам при различных уровнях загрязнения ТМ

Коэффициенты ингибирования прорастания семян, характеризующие фитотоксичность почв, в зонах геохимических аномалий достигают 1,5-1,75 [2], что согласно критериям экологической оценки состояния почв, соответствует экологическому бедствию. В менее загрязненных участках города коэффициенты ингибирования варьируют в пределах 1,1-1,3, что соответствует удовлетворительной экологической ситуации [7]. Высокая фитотоксичность почв в зонах геохимических аномалий может свидетельствовать о значительном их загрязнении и другими токсичными ксенобиотиками.

Целлюлозолитическая активность низкая в почвах геохимических аномалий (10-11%) и достаточно высокая в парках и фоновых территориях (50-65%) [2]. Нитрифицирующая способность почв геохимических аномалий изменялась в широких пределах (от 5,6 до 0,5 мг/кг), что говорит о высокой чувствительности нитрифицирующих бактерий к загрязнению ТМ и потенциальной возможности использования этого биоиндикационного показателя для оценки предельно допустимой техногенной нагрузки на почвы урбанизированных территорий, загрязненных ТМ.

Помимо чувствительности важным условием, позволяющим использовать какой-либо показатель состояния почвы для оценки предельно допустимой нагрузки, является нелинейность реакции данного показателя на нагрузку [8, 9]. Дозо-ответная реакция для острого экотоксического воздействия ТМ на биоиндикатор может быть описана уравнениями двух типов – гауссовой или логистической регрессией [10]. С целью установления характера зависимости нитрифицирующей способности почвы от уровня загрязнения ТМ нами была поставлена серия лабораторных опытов. Для исключения влияния на нитрифицирующую способность почвы прочих токсичных веществ, загрязняющих городские ландшафты

(нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов, синтетических поверхностно-активных веществ и т.п.) в эксперименте была использована дерново-подзолистая почва, отобранная с незагрязненного реперного участка Судогодского района Владимирской области (содержание гумуса – 1,31%, рН<sub>Н<sub>2</sub>O</sub> – 5,96, H<sub>T</sub> – 0,99 ммоль/100 г). Градиент загрязнения исходной почвы формировали путем совместного внесения различных доз растворимых солей ТМ (ZnSO<sub>4</sub>, CdSO<sub>4</sub>, NiSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, CrCl<sub>3</sub>).



**Рис. 4.** Нитрифицирующая способность почвы при различных уровнях загрязнения ТМ

Полученные в опыте результаты использовали для построения зависимости «доза – эффект» (рис. 4). Как следует из рисунка, внесенные дозы ТМ оказывали стимулирующее воздействие на нитрифицирующую способность почвы, однако с увеличением уровня загрязнения происходило подавление процесса нитрификации. Нелинейность реакции нитрифицирующей способности почвы на нагрузку делает возможным использовать данный показатель для нахождения величин предельно допустимых нагрузок на почвы урбанизированных территорий, находящихся в градиенте загрязнения, путем анализа дозовых зависимостей.

**Выводы:** наиболее информативными и достоверными показателями антропогенной трансформации и устойчивости почв урбанизированных территорий, загрязненных тяжелыми металлами, являются буферность к кислотам и тяжелым металлам, фитотоксичность, целлюлозолитическая активность и нитрифицирующая способность почвы; последнюю ввиду высокой чувствительности и нелинейной реакции на загрязнение можно использовать для расчета предельно допустимой нагрузки на почвы урбаноземов, находящихся в градиенте загрязнения, путем анализа зависимости «доза – эффект».

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ. ГК №П622.*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Трифонова, Т.А. Геоинформационные системы и дистанционное зонирование в экологических исследованиях / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, А.Н. Краснощеков. – М.: Академический проект, 2005. 352 с.
2. Трифонова, Т.А. Комплексная оценка пространственно-временной динамики урбанизированных территорий. Монография / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, С.М. Чеснокова, А.Н. Краснощеков. – Владимир: ВООО ВОИПУ «Рост», 2010. 92 с.
3. Добровольский, В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почв // Почвоведение. 1997. №4. С. 431-441.
4. Ильин, В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрохимия. 1995. №10. С. 109-113.
5. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
6. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. – СПб.: ООО «НПО «Спектрон», 2004. 16 с.
7. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и природопользование в России / В.Ф. Протасов, А.В. Молчанов. – М.: Финансы и статистика, 1995. 382 с.
8. Воробейчик, Е.Л. Реакция лесных фитоценозов на техногенное загрязнение: зависимости доза-эффект / Е.Л. Воробейчик, Е.В. Хантемирова // Экология. 1994. №3. С. 31-43.
9. Алхутова, Е.Ю. Метод расчета предельно допустимой техногенной нагрузки на почву на основе анализа зависимости «доза – эффект» // Материалы II Международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность региона». – Брянск, 2009. С. 29-35.

**ESTIMATION OF SOILS STABILITY AT URBANIZED TERRITORIES,  
POLLUTED BY HEAVY METALS**

© 2011 S.M. Chesnokova, E. Yu. Alhutova

Vladimir State University

Techniques of estimation the stability of soils at urbanized territories polluted by heavy metals are offered.

Key words: *soils, heavy metals, nitrifying ability, buffering, stability*

---

*Svetlana Chesnokova, Candidate of Chemistry, Professor at the Ecology Department. E-mail: chesnokovasm@mail.ru  
Ekaterina Alhutova, Candidate of Biology, Senior Research Fellow at the Ecology Department. E-mail: konfvladimir@mail.ru*