

**ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ
НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ДОЗА-ЭФФЕКТ ЗАВИСИМОСТИ**

О. Е. Пряженникова, А. В. Заушинцева

**SOIL-ECOLOGICAL ZONING OF THE URBANIZED TERRITORY ON THE BASIS
OF CALCULATING THE “DOSE-EFFECT” RELATION**

O. E. Pryazhennikova, A. V. Zaushintsena

Рассмотрены теоретические основы почвенно-экологического зонирования урбанизированных территорий.

Проведены исследования биологической активности почв и грунтов в условиях городского ландшафта (территория г. Кемерово). Проанализированы результаты геохимического анализа почвенных образцов. Рассмотрена возможность использования расчетов доза-эффект зависимостей для осуществления почвенно-экологического зонирования урбанизированной территории. Мерой «дозы» служили показатели концентрации тяжелых металлов в почве (Cu, Zn, Fe, Co, Ni, Cr, Mn, Cd, Pb), мерой «эффекта» данные, полученные при предварительном исследовании почвенных образцов на предмет активности ферментов (каталазы, уреазы, дегидрогеназы, инвертазы), а также целлюлозоразрушающая активность почв, грунтов и содержание гумуса. Произведено разделение исследуемых земельных участков на почвенно-экологические зоны методом агломеративной кластеризации. Составлен лингвистический словарь для наименования полученных термов, представлено краткое описание выделенных почвенно-экологических зон.

Theoretical bases for soil-ecological and functional zoning of urban areas are provided based on the studies of the biological activity of soils in the urban landscape (Kemerovo city territory). The results of geochemical analysis of soil samples are analyzed. The possibility of using calculations of dose-effect dependencies for the implementation of soil-ecological zoning of the urban territory is considered. “Dose” was measured by indicators of heavy metal concentration in the soil (Cu, Zn, Fe, Co, Ni, Cr, Mn, Cd, Pb), “effect” was measured by the data obtained in the preliminary study of soil samples for the activity of enzymes (catalase, urease, dehydrogenase, invertase), and cellulose breaking activity of soils and humus content. The studied plots were divided in soil-ecological zones by the method of agglomerative clustering. A linguistic dictionary for naming the acquired terms was compiled, a brief description of selected soil-ecological zones is presented.

Ключевые слова: почвенно-экологическое зонирование, доза-эффект зависимость, урбанизированная территория, городские почвы.

Keywords: soil-ecological zoning, dose-effect dependence, urbanized territory, municipal soils.

Самое распространенное геоэкологическое явление в условиях городской среды – это загрязнение. Загрязнению подвержены все зоны города от промышленных до рекреационных с момента возникновения городской инфраструктуры до ее настоящего развития. Изучение пространственно-временной структуры распространения и распределения загрязняющих веществ удобно использовать в исследовании взаимодействия техногенных элементов и компонентов природного комплекса.

Согласно концепции функционального зонирования городской территории все компоненты природного комплекса по отношению к процессам переноса и накопления загрязняющих веществ разделены на две группы. К первой группе отнесены среды, преимущественно депонирующие загрязняющие вещества (почвы, донные отложения, биотические компоненты). Вторая группа объединяет среды, преимущественно транспортирующие загрязняющие вещества (воздушные массы, поверхностные, подземные воды) [2]. Изучение депонирующих компонентов позволяет охарактеризовать степень техногенного воздействия на природно-антропогенный комплекс за определенный период времени.

В рамках современной теории почвенно-экологического зонирования сложилось классическое определение понятия «почвенно-экологического зониро-

вания», как целевого разделения территории под определенные виды хозяйственной деятельности и использования земель, обусловленного экологической значимостью почвенного покрова. Данная трактовка основана на исследовании общебиосферных и ландшафтнособерегающих функций почв [3]. Территориальная неоднородность по функциональной состоятельности почв выражается в их принадлежности к трем зонам: зоне сохранения, зоне восстановления, зоне рационального использования. В каждой из зон предусматривается определенный строго регламентированный режим использования земель.

Урбанизированная территория представляет собой сложную природно-антропогенную систему, степень техногенной трансформации природных компонентов в которой зависит от многих факторов, отраслей специализации экономики города, истории формирования производства и т. д.

Данный вид зонирования представляет собой сложный процесс, осуществляемый в несколько этапов, включающих значительный объем полевых и камеральных работ. Особую сложность в процедуре зонирования представляет оценка масштабов, характера и степени воздействия техногенных явлений оказываемых объектами современной городской инфраструктуры на почвенный компонент. Выделение почвенно-экологических зон в пределах города направле-

но на планирование оптимального землепользования, необходимо при землеустройстве, в обосновании ландшафтных систем земледелия.

Цель исследований: разделение исследуемых земельных участков города Кемерово на почвенно-экологические зоны с помощью доза-эффект зависимости.

Задачи исследований:

- исследование функционального состояния почв, почвоподобных тел по активности ферментов (каталазы, уреазы, дегидрогеназы, инвертазы) и целлюлозоразрушающей активности;
- исследование концентрации тяжелых металлов в почвах и грунтах;
- расчет доза-эффект зависимостей, составление лингвистического словаря для наименования полученных термов;
- разделение участков на почвенно-экологические зоны, описание зон.

Материал и методы исследований

В современной науке разработано множество методов исследования почв. Все они, как правило, сводятся к их функциональной оценке. Антропогенно-преобразованные почвы формирующиеся в условиях урбанизации и индустриализации требуют в своем изучении особого подхода. Пространственно-временной подход при исследовании подобных объектов является наиболее рациональным [1].

На урбанизированной территории, где сконцентрировано значительное количество источников химического загрязнения главными функциональными показателями, характеризующими воздействие осаждающихся из атмосферы на поверхность почв и грунтов поллютантов являются доза-эффект зависимости. Доза-эффект зависимости представляют собой бинарные отношения типа: $(X*Y)$, где X – множество значений дозы, Y – множество значений эффекта.

Данный подход позволяет при конструировании альтернатив комбинировать несоизмеримые показатели концентрации тяжелых металлов в почве с некоторыми характеристиками биологической активности почв. В настоящем исследовании мерой дозы служили показатели концентрации тяжелых металлов в почве (Cu, Zn, Fe, Co, Ni, Cr, Mn, Cd, Pb) мерой эффекта данные, полученные при предварительном исследовании почвенных образцов на активность ферментов (каталазы, уреазы, дегидрогеназы, инвертазы), а также целлюлозоразрушающая активность почв и содержание гумуса. Исследование осуществляли на 16-ти участках расположенных в пределах города, в период за 2009 – 2010 гг. с использованием стандартных методик [8; 9].

Расчет доза-эффект зависимости осуществляли в несколько этапов. На начальном этапе показатели эффекта сгруппировали в интегральные индексы предварительно нормализовав данные в единичном интервале [0,1] (таблица 1).

Таблица 1

Интегральные характеристики эффекта

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Участок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17
11	0.407	0.38	0.405	0.175	0.56	0.435	0.155	0.77	0.32	0.457	0.387	415	0.417	445	0.42	0.795
12	0.07	0.3	0.18	1	0.19	0.2	0.23	0	0.15	0.16	0.18	0.06	0	0.22	0.18	0.08
13	0	0	0.51	0.99	0.51	1	0.6	0.48	0.27	0.48	0.12	0.06	0.14	0.17	0	0.01

И1 – интегральный индекс объединяющий набор эквивалентных данных характеризующих активность почвенных ферментов (каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, уреазы) в исследуемый период;

И2 – интегральный индекс объединяющий исходные данные по содержанию гумуса в почвенных образцах;

И3 – интегральный индекс объединяющий исходные данные по целлюлозоразрушающей активности почв.

Расчитанные интегральные индексы эффекта, объединили в суммарный интегральный индекс с помощью метода главных компонент. Удельный вес главной компоненты представлен в виде [54.8 30.9 14.3]. Из выражения следует, что первая главная компонента имеет значительный перевес над остальными, поэтому в дальнейших расчетах ограничились только этой компонентой.

Полученный суммарный интегральный индекс и интегральную дозу нормировали к интервалу [0,1], (таблица 2).

Логистическая кривая (рис. 1), построенная по данным таблицы 2, свидетельствует об отсутствии четко выраженной связи между дозой и эффектом, а так же между эффектом и местоположением участков. Поэтому дальнейший анализ связан с разделением земельных участков на отдельные группы путем агломеративной кластеризации.

При определении связей между сходными объектами использовали метрику евклидовых расстояний [4].

Доза-эффект зависимость, упорядоченная по возрастанию дозы

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Уча-сток	4	3	6	12	9	2	11	7	14	16	5	17	8	15	1	13
СИИ	0.843	0.297	0.553	0.104	0.145	0.097	0.287	0.299	0.039	0.054	0.368	0.111	0.342	0.488	0	1
Доза	0	0.032	0.104	0.173	0.18	0.183	0.206	0.21	0.304	0.358	0.361	0.461	0.465	0.477	0.631	1

Примечание: СИИ – суммарный интегральный индекс.

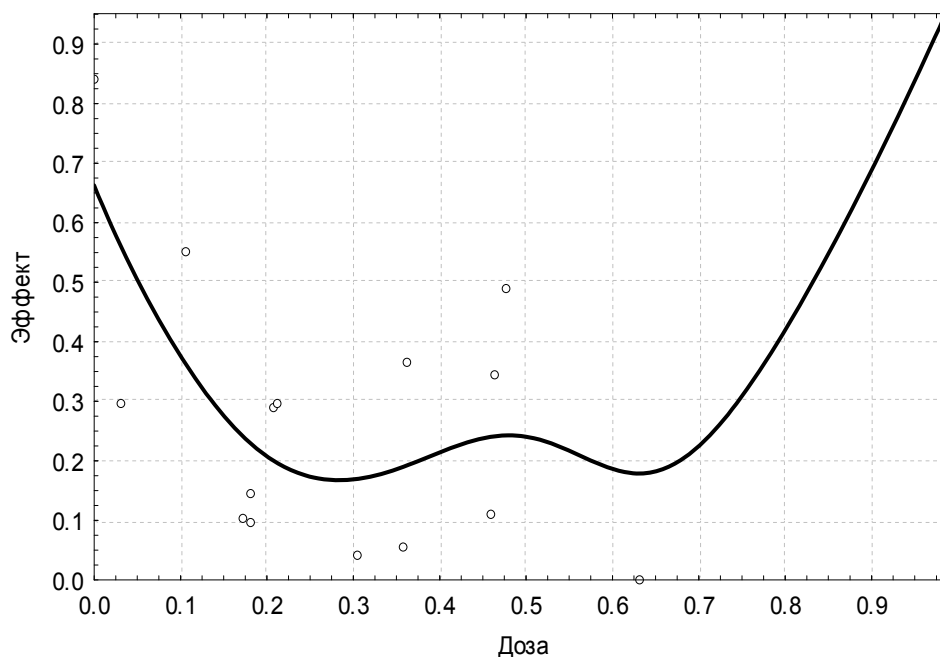


Рис. 1. График доза-эффект зависимости в форме СИИ = f(Доза) для земельных участков г. Кемерово

Результаты исследований и их обсуждение

Выделенным при анализе дендрограммы (рис. 2) кластерам, присвоили наименования прописных латинских букв (А, В, С, D). Кластер А объединил участки (15, 8, 5); к бинарному кластеру В отнесены участки (7, 11); кластер С представлен участками (17, 16, 14); в кластер D включены участки (9, 2, 12).

В таблице 3 приведены земельные участки, расположенные в пределах городской территории, сгруппированные в кластеры в соответствии с дендрограммой евклидовых расстояний. Эти участки, сгруппированные в кластеры по доза-эффект зависимости, характеризуются аналогичными свойствами и могут быть отнесены к эквивалентным почвенно-экологическим зонам. Однако в тот или иной кластер попадают участки зон различного функционального назначения и экологических рисков. Так участки (15, 17, 14, 5) расположены в зоне индивидуальной жилой застройки, участки (8, 7, 11, 16, 9, 2, 12) многоэтажной жилой застройки. По градостроительной оценке экологической ситуации участок 5 отнесен к ареалу критического загрязнения, участок 12 к ареалу высокого загрязнения. Географический и исторический аспекты развития функциональных зон города отражены в специфике формирования урбаноземов. Свойства поллютантов, продолжительность их воздействия, оказывают влияние на характер почвообразова-

тельных процессов, свойства и структуру почв. По этой причине при почвенно-экологическом зонировании необходимо учитывать принадлежность исследуемых участков к функциональным зонам. Схему функционального зонирования г. Кемерово [7], использовали при составлении лингвистического словаря, который применяли при приписывании каждому из найденных кластеров определенного термина.

Кластеру А присвоен терм «Импактная зона», уровень дозы составил 0,361-0,477. Кластеру С присвоен терм «Зона деградации», при уровне дозы 0,304-0,461, кластер В отнесен к «Буферной зоне», кластер D является «Зоной риска».

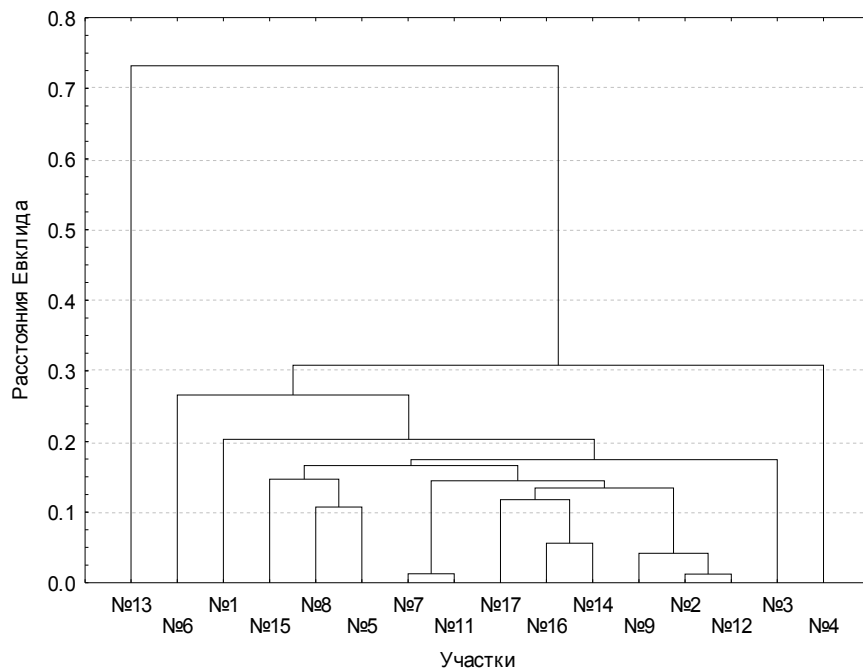


Рис. 2. Дендрограмма между участками, полученная с помощью метрики Евклида

Таблица 3

Участки городской территории, сгруппированные в кластеры

Участок	15	8	5	7	11	17	16	14	9	2	12	13	6	1	3	4
СИИ	0.488	0.342	0.368	0.299	0.287	0.111	0.054	0.039	0.145	0.097	0.104	1	0.553	0	0.297	0.843
Доза	0.477	0.465	0.361	0.21	0.206	0.461	0.358	0.304	0.18	0.183	0.173	1	0.104	0.631	0.032	0
Кластер	A	A	A	B	B	C	C	C	D	D	D					

Выделенная нами импактная зона – характеризуется значительной близостью к промышленным и транспортным предприятиям города. Основными источниками загрязнения в зоне являются предприятия тепло- и электроэнергетики, котельные ЖКХ, предприятия химической и коксохимической промышленности, свалки ТБО, полигоны промышленных отходов, не-санкционированные свалки, предприятия деревообработки. Твердые и газовые выбросы загрязняющих веществ от вышеназванных источников загрязнения осаждаются на земную поверхность. Увеличению потенциала загрязнения земной поверхности способствуют метеосостояния города: котловинное положение, преобладающие в течении года юго-западные направления ветров, температурные инверсии. Консолидация большого числа стационарных и подвижных источников загрязнения на небольшой по площади территории приводит к заметному угнетению почвенных процессов.

Импактная зона – это зона функциональной несостоятельности почв и почвогрунтов. В пределах зоны концентрации цинка и свинца превышают установленные нормы ПДК [6, с. 49 – 51]. Повышенные концентрации тяжелых металлов лимитируют биологическую активность почв. По активности почвенных ферментов образцы почв отнесены к категории «очень бедные». Целлюлозолитическая активность за вегетационный

период оценена как «средняя», интенсивность разложения целлюлозы – 50 %. Содержание гумуса в грунтах – 10,6 % [5, с. 116 – 117].

В геоморфологическом отношении зона представлена в правобережье р.Томь третьей надпойменной террасой, сложенной илами, лессовидными суглинками, песками мощностью 10 – 27 м, глубиной залегания грунтовых вод 2 – 5 м. Левобережная часть зоны расположена на второй надпойменной террасе р.Томь, сложенной глинистыми песками, супесями, суглинками мощностью 8 – 10 м, глубиной залегания грунтовых вод 2 – 5 м.

Зона деградации – расположена вблизи подработанных территорий шахтных полей, районов провалопроопасных зон, где происходит выделение шахтных газов. Источниками загрязнения земной поверхности в данной зоне являются котельные ЖКХ и транспорт. Географическое положение зоны определяет повышенный потенциал загрязнения атмосферы. Юго-западные токи воздуха выносят в исследуемый район города выбросы из промышленной зоны, где действуют химические и энергетические предприятия. Зона деградации – это зона угнетения почвообразовательных процессов и значительной механической трансформации почв и грунтов. Активность исследуемых групп ферментов оценена как «очень бедная», интенсивность разложения целлюлозы «сильная», содержа-

ние гумуса – 7,5 % [5, с. 116 – 117]. Высокая целлюлозолитическая способность почв этой зоны формируется не в естественных условиях, а связана с привозными грунтами осемененными биотой, способной к разложению целлюлозы и которая не успела за короткий период сформировать устойчивого ферментативного комплекса. В природном отношении зона представлена западной окраиной холмисто-увалистой неравномерно-расчлененной денудационной равнины, сложенной коренными породами (аргиллитами, алевролитами, песчаниками, конгломератами, каменными углями) перекрытых чехлом элювиально-делювиальных лессовидных щебнисто-дресвянистых суглинков мощностью 5 – 20 м.

Буферная зона – включает селитебные районы города с участками санитарно-защитных и водоохраных зон. Основным источником загрязнения является транспорт. Среди тяжелых металлов превышение нормы ПДК отмечено по концентрации свинца. В зоне отмечены низкие показатели ферментативной активности, почвы оценены как «бедные», целлюлозоразрушающая активность «очень сильная», содержание гумуса – 9,6 % [6, с. 49 – 51]. В геоморфологическом отношении зона представлена второй и третьей надпойменными террасами р. Томь с близким залеганием грунтовых вод – до 2 м.

Зона риска характеризуется многоэтажной жилой застройкой, развитой автотранспортной инфраструктурой,

удаленностью от промышленных предприятий. Исследуемые участки расположены в санитарно-защитных зонах с низкими концентрациями дозы, показателями ферментативной активности, высокими показателями целлюлозолитических процессов. Зона риска – это зона допустимых или слабых необратимых нарушений почвенных процессов. Геоморфологической основой зоны служат участки второй, третьей, и четвертой надпойменных террас. Четвертая надпойменная терраса сложена лессовидными суглинками, илами, супесями, песками мощностью 20 – 32 м, глубиной залегания грунтовых вод 5 – 10 м.

Выводы

1. На исследуемых 16-ти земельных участках города отмечена низкая активность почвенных ферментов, свидетельствующая о функциональном нарушении почв.

2. Интенсивность разложения целлюлозы в почвах установлена в пределах нормы по причине широкого распространения насыпных искусственных грунтов заселенных почвенной биотой, способной к её разрушению. По результатам расчетов доза-эффект зависимости определены участки города с эквивалентными характеристиками функциональной составляющей почв, объединенные в аналогичные зоны.

Литература

1. Валова Е. Э. Эколого-геохимические особенности городских ландшафтов степной и лесостепной зон межгорной котловины (на примере г. Улан-Удэ): автореф. дис. ... канд. геол. наук. Улан-Удэ, 2003. 24 с.
2. Геоэкология урбанизированных территорий // Сб. тр. Центра Практической Геоэкологии / под ред. В. В. Панькова, С. М. Орлова. М.: ЦПП, 1996. 108 с.
3. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 262 с.
4. Ефремов И. Е. Моделирование почвенно-растительных систем. М.: Изд-во URSS, 2008. 152 с.
5. Пряженникова О. Е. Биологическая активность почв в условиях городской среды (на примере города Кемерово) // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии: мат-лы II Междунар. научн. конф. Улан-Удэ (Россия), 20 – 25 июня 2011 г.: в 3 т. Т. 1. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СОРАН, 2011.
6. Пряженникова О. Е. Загрязнение почвенного и снегового покрова г. Кемерово тяжелыми металлами // Научная перспектива. Уфа: Инфинити, 2011. № 3.
7. Схема функционального зонирования г. Кемерово. Режим доступа: <http://www.mgis42.ru/node/536>
8. Федорец Н. Г., Медведева М. В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2009. 85 с.
9. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.

Информация об авторах:

Пряженникова Оксана Евгеньевна – ассистент кафедры геологии и географии КемГУ, Pryazhennikovao@yandex.ru.

Oksana E. Pryazhennikova – Assistant Lecturer at the Department of Geology and Geography, Kemerovo State University.

Заушинцева Александра Васильевна – доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники КемГУ, alexaz58@yandex.ru.

Alexandra V. Zaushintsena – Doctor of Biology, Professor at the Department of Botany, Kemerovo State University.

Статья поступила в редколлегию 22.09.2014 г.