

УДК 332.368(575.2-25)
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-198-202

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УРБАНОЗЕМОВ Г. БИШКЕК
НА ОСНОВЕ ТРИАДНОГО ПОДХОДА**

Ч.Б. Айдыралиева, Б.М. Худайбергенова

Аннотация. Произведена оценка степени загрязнения городских почв с использованием триадного метода. В качестве объектов исследования были выбраны две территории: район ТЭЦ и Южная парковая зона г. Бишкек. Почвы ТЭЦ относятся к урбаноземам, почвы парка – к стратифицированным урбаноземам. С помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра Дельта определено содержание тяжелых металлов в образцах почв, рассчитан показатель суммарного загрязнения с учетом средних геометрических коэффициентов концентрации тяжелых металлов. Проведен тест на фитотоксичность для пробного объекта с использованием семян белой горчицы в пластиковых планшетах согласно стандартной методике фитотестирования «Фитоскан», а также изучена потенциальная биологическая активность почвы. Определен индекс состояния изученных почв: почвы ТЭЦ отнесены к IV-й категории качества, почвы Южного парка – ко II-й категории качества почв.

Ключевые слова: тяжелые металлы; методология триад; биотестирование; экотоксичность; биодиагностика; химическое загрязнение.

**БИШКЕК ШААРЫНЫН УРБАНОЗЕМДЕРИНИН САПАТЫН
ТРИАДАЛЫК ЫКМАНЫН НЕГИЗИНДЕ БААЛОО**

Ч.Б. Айдыралиева, Б.М. Худайбергенова

Аннотация. Топурактын булганышы чынжыр реакциясын жаратат. Ал кыртыштын биологиялык ар түрдүүлүгүнө таасирин тийгизет, топурактын органикалык заттарынын запасын жана анын чыпкалоо жөндөмүн азайтат. Антропогендик факторлордун таасири астында топурактын нымдуулугу жана жер астындагы суулар синтетикалык заттар менен булганат, топурактын микроэлементтүү курамы өзгөрөт. Бул изилдөөдө шаардык топурактын булгануу даражасын баалоо үчүн «триадалык ыкма» колдонулган. Изилдөө объектилери катары II Аймак, ЖЭБ аймагы жана түштүк парк зонасы тандалып алынган. ЖЭБ топурактары урбаноземалар, Парк топурактары стратификацияланган урбаноземалар. Дельта рентгенофлуоресценттүү спектрометрдин жардамы менен кыртыштын үлгүлөрүндө оор металлдардын болушу аныкталган, оор металлдардын концентрациясынын орточо геометриялык коэффициенттерин эске алуу менен суммалык булгануунун көрсөткүчү эсептелген. Стандарттык «Фитоскан» фитотестинг методикасына ылайык пластикалык плиталардагы ак кычы уруктарын колдонуу менен сыноо объектиси үчүн фитотоксикалуулукка тест жүргүзүлүп, кыртыштын потенциалдуу биологиялык активдүүлүгү да изилденген. Триада ыкмасынын негизинде изилденген топурактардын абалынын индекси аныкталды. ЖЭБ топурагынын сапаты IV категориясына, Түштүк парктын топурагынын сапаты II категориясына кирет.

Түйүндүү сөздөр: оор металлдар; триада методологиясы; биотестирлөө; экотоксидүү; биодиагностика; химиялык булгануу.

**ASSESSMENT OF THE QUALITY OF BISHKEK URBAN SOILS
BASED ON A TRIADIC APPROACH**

Ch.B. Aidyalieva, B.M. Khudaibergenova

Abstract. The degree of pollution of urban soils was assessed using the triad method. Two territories were selected as research objects: the district of the CHP and the Southern Park Zone of Bishkek. The soils of the CHP belong to urbanozems, the soils of the park belong to stratified urbanozems. The content of heavy metals (TM) in soil samples

was determined using the Delta X-ray fluorescence spectrometer, and the total pollution index was calculated taking into account the average geometric coefficients of the concentration of heavy metals. A phytotoxicity test was performed for a test object using white mustard seeds in plastic plates according to the standard phytotesting method «Fitoscan», and the potential biological activity of the soil was studied. The index of the condition of the studied soils has been determined: the soils of the CHP are assigned to the ivth category of quality, the soils of the Southern Park to the II category of soil quality.

Keywords: heavy metals; triad methodology; biotesting; ecotoxicity; biodiagnostics; chemical pollution.

Введение. Состояние городской среды является одним из важных факторов, влияющих на здоровье жителей. Развитие инфраструктуры города, как правило, сопровождается значительной сменой природного ландшафта городским. Рост отопительных центров, автотранспортных магистралей, строительство промышленных объектов приводит к изменению количественного и качественного состава зеленых насаждений, а соответственно, и почвенного покрова. Как известно, функциональные свойства почв зависят от микробиологического состава химических показателей. Рост интенсивности транспортных потоков, увеличение количества централизованных отопительных систем, использование некачественного угля приводят к ухудшению качества урбаноземов, сменивших природные почвы [1].

Изучение состояния окружающей среды на основе метода интегральных показателей позволяет получить более полную картину распространения и накопления загрязняющих веществ и их нагрузки на природные объекты среды. Для оценки состояния водных объектов, к примеру, используются гидрохимические и гидробиологические методы [2].

Таким образом, на современном этапе развития экологической оценки окружающей среды применяются методы, отражающие состояние объектов среды, их отклик на воздействие внешних поллютантов. По откликам биоты строится прогнозирование дальнейшего ее развития и всей экосистемы в целом [3]. К антропогенным факторам относятся не только источники выхлопных газов, тяжелых металлов, но и химические, микробиологические и другие промышленные препараты, которые могут включаться в природные биогеохимические процессы, заменяя природные компоненты реакций [4].

Для оценки влияния вредных загрязнителей на экосистемы Питер Чапмен предложил использовать интегрированный подход, позволяющий учитывать влияние химических веществ, доступность поллютантов для биосистем, а также экотоксикологические последствия изучаемых систем. Данный подход был назван «триадным» и приобрел популярность в прикладной экологии. С 2017 г. в системе международных стандартов – ISO 2094–2017 «Качество почв. Методом оценки экологического риска локального загрязнения почвы» рекомендуется применение «триадного подхода» (TRIAD approach) [5, 6].

Цель работы – оценить экологическое состояние урбаноземов г. Бишкек с помощью «триадного» метода.

Объекты и методы исследований. Исследование проводили на почве двух территорий Бишкека. Территория 1 является районом ТЭЦ, объект ограничен следующими улицами: ул. Шабдан баатыра, пр. Чуй, ул. Чолпон-Атинской, а также вдоль железнодорожного полотна (рисунок 1).

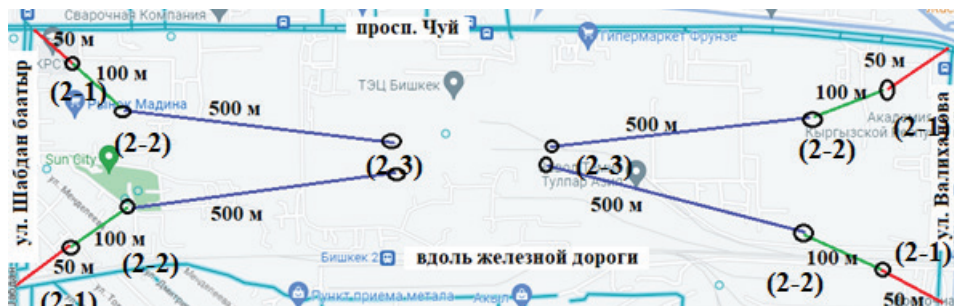


Рисунок 1 – Территория № 1 – район ТЭЦ

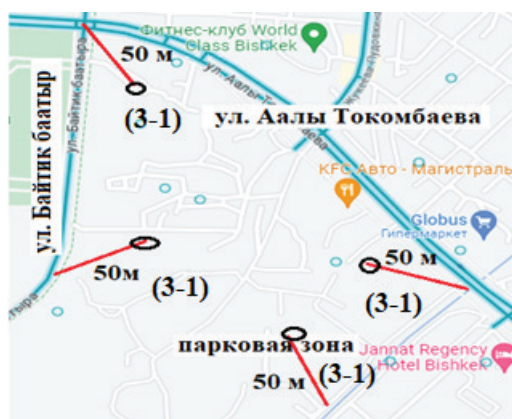


Рисунок 2 – Территория № 2 – южная парковочная зона

Территория 2 – южная парковочная зона, ограниченная следующими улицами: ул. Байтик-Баатыра, ул. Аалы Токомбаева, территорией, где находится парковочная зона города (контроль для урбаноземов) (рисунок 2).

Выбор образцов осуществляли с открытой почвы в конце августа 2022 г. методом конверта. Удаленность от источника загрязнения (автотранспортной магистрали) составляла 50 м. Был проведен лабораторный анализ тестирования семян белой горчицы на пластиковых планшетных устройствах на фитотоксичность (методика «Фитоскан», ФФ. 1. 39. 2012 г. (элюатный способ) [7]. Для определения тяжелого металла почвы применяли рентгенфлуоресцентный спектрометр DELTA. На каждом участке определяли валовое содержание следующих элементов: Cu, Co, Pb, As, Zn, Mn, Hg, Sb, Cr, Cd. Был рассчитан коэффициент концентрации вещества (Кс) и приведен показатель суммарного загрязнения с учетом средних геометрических коэффициентов концентрации тяжелых элементов ($Z_c(r)$) [8]. С помощью газохроматографического метода *определяли потенциальную биологическую активность* почвы [9, 10].

Междисциплинарный подход позволяют учитывать показатели химического (ИСх), биоиндикационного (ИСб) и токсического (ИСт) [5, 11]. Расчет показателей состояния ИСх, ИСт и ИСб основан на сравнении полученных показателей для расчета с данными фонового или предельно допустимой концентрацией (ПДК) [12].

Результаты и обсуждение. Расчет суммарного показателя загрязнения ($Z_{с(г)}$), равного сумме коэффициента концентрации химического элемента (Кс), полученного на основании сопоставления фактической и фоновой концентраций загрязнения, использован для оценки полиэлементных загрязнений. Результаты данных коэффициентов концентраций химических элементов приведены в таблице 1.

Коэффициент концентрации вещества K_c по всем площадкам учитывали для расчета суммарной концентрации (Z_c). Значения фактических концентраций загрязнений, превышающих фоновые, говорят о нарушении почвенной среды [8].

Для территории 1 выявлено превышение концентраций ($Z_{с(г)}$) в 4,0 раза, в контрольной зоне (территория 2) комплексного показатель суммарного загрязнения ($Z_{с(г)}$) не превысил ПДК (таблица 2). Все образцы территории 2 продемонстрировали допустимую степень загрязнения ($Z_c < 16$).

Показатели базального дыхания были выше в контрольной зоне. Для почв первой и второй территории характерны нейтральные значения pH (7,6–7,8). Однако содержание гумуса в контрольной территории значительно ниже (4,45 %), чем в первой (10,24 %). Такая же тенденция отмечена и по содержанию азота.

Изменения энергии прорастания и скорости роста корней растений свидетельствуют об эффекте ингибирования прорастания семян белой горчицы (элюатный способ). Полученные данные фитoeffекта, представленные в таблице 1, показали низкий уровень энергии прорастания в почвах

Таблица 1 – Кларк, зональные фоновые концентрации (ЗФК), содержание тяжелых металлов ПП и расчеты коэффициента концентрации химического вещества (Кс)

ПП (пробные площади)	Pb	As	Zn	Cu	Co	Mn	Cr	Cd	Sb	Hg
Кс	0,3	4,5	3	0,9	16,8	2,7	16,2	6	2,4	3,8
Территория 1 (ТЭЦ 50 м)	5	14	21	77	67	1722	78	11	22	6
Кс	0,3	-	-	2,1	13,2	1,7	10,2	-	6,4	3,8
Территория 2 (Юж. парк 50 м)	5	-	-	78	70	2048	58	-	34	7

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов ПП и расчеты комплексного показателя суммарного загрязнения ($Z_{ст(r)}$) (мг/кг), базальное дыхание почвы (БД) и фитоэффект (ФЭ) (%) длина корней элюатного способа (ЭС)

ПП	ТМ ($Z_{ст(r)}$)	ФЭ ЭС	БД	pH	Гумус (%)	Азот (%)
Территория 1	54	1,3	0,41	7,6	10,24	0,405
Территория 2	16,7	4,4	0,51	7,8	4,45	0,100

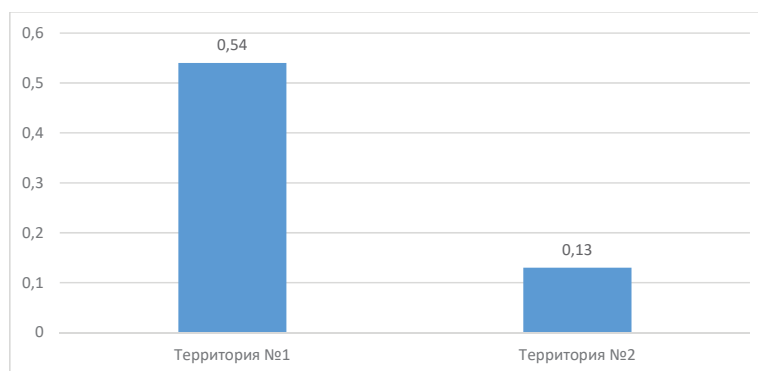


Рисунок 2 – Интегральный индекс, рассчитанный с помощью «триадного» подхода и состояние почв на территориях № 1 и № 2

территории № 1, и как следствие, наибольший эффект ингибирования (1,3 %). При низком содержании гумуса в этих районах (4,45), семена горчицы показали положительный прирост, что свидетельствует об отсутствии влияния загрязнения ТМ на энергию прорастания семян на почвах контрольной территории.

Для оценки состояния почвы по биоиндикационным показателям ИСб в каждом исследуемом образце, полученные данные сравнивали с данными фонового образца. Также оценивали показатели токсичности – ИСт.

Интегральное состояние на основе химико-, токсико-биоинфицированных индексов ИСх, ИСт и ИСб определяли по формуле:

$$\dot{E} \tilde{N} = \frac{\dot{E} \tilde{N}_0 + 1,5 \dot{E} \tilde{N}_0 + 2,0 \dot{E} \tilde{N}_A}{1,0 + 1,5 + 2,0},$$

что позволило определить степень антропогенного воздействия и экологическое состояние изученных почв [13].

Рассчитанный на основе «триадного» подхода (химии, биоиндикации и токсикологии) индекс состояния почв при сравнении с приведенными в мировой практике категориями качества почв [13]

позволяют сделать вывод о том, что почва на территории № 1, наиболее близкой к ТЭЦ, относится к «сильно нарушенной» IV категории качества. А второй участок относится к «слабо нарушенной» II категории показателей качества почвы (рисунок 2).

Заключение. Рассмотрена возможность применения «триадного» подхода к оценке экологической ситуации почвы на примере нескольких урбаноземов г. Бишкека. Установлено, что грунтовые участки территорий ТЭЦ и южной парковой зоны соответствуют IV «сильно нарушенной» и II «слабо нарушенной» категории качества.

Почвы IV категории качества обладают потенциалом к самовосстановлению, однако для этого требуется проведение работ по их рекультивации и оздоровлению.

Поступила: 04.07.24; рецензирована: 18.07.24; принята: 22.07.24.

Литература

1. Добровольская Т.Г. Оценка бактериального разнообразия почв: эволюция подходов и методов / Т.Г. Добровольская, А.В. Головченко, Т.А. Панкратов, Л.В. Лысак, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1222–1232.
2. Горшкова А.Т. Интегральные показатели в экологической диагностике / А.Т. Горшкова, О.Н. Урбанова // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6 (48). С. 132–136. URL: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.48.049>.
3. Попутникова Т.О. Установление зоны влияния полигона ТБО на почвы по структурно-функциональным изменениям микробных сообществ / Т.О. Попутникова, В.А. Терехова // Вестник Моск. ун-та: серия 17. Почвоведение. 2010. № 2. С. 51–54.
4. Bunemann E.K. Soil quality – A critical review / E.K. Bunemann, G. Bongiorno, Z. Bai, R.E. Creamer, G. De Deyn, R. de Goede, L. Brussaard // Soil Biology and Biochemistry. 2018. № 120. Pp. 105–125.
5. Chapman P.A. Decision making framework for sediment assessment developed for the Great Lakes / P.A. Chapman // Human and Ecological Risk Assessment. 2005. V. 8. № 7. Pp. 1641–1655.
6. Chapman P.M. The sediment quality Triad approach to determining pollution-induced degradation / P.A. Chapman // Sci. Total Environ. 1990. V. 97. Pp. 815–825. URL: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(90\)90277-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(90)90277-2).
7. Методика измерения биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования («Фитоскан») ФР.1.39. 2012.11560.
8. Сает Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. М.: Недра, 1990. 319 с.
9. Асеева И.В. Методы почвенной микробиологии и биохимии / И.В. Асеева. М.: МГУ, 1991. 302 с.
10. Кобечинская В.Г. Сезонная динамика выделения углекислого газа («Дыхание почв») в предгорной зоне Крыма / В.Г. Кобечинская, А.В. Ивашов, М.В. Гритчин // Биология. Химия / Крымский федеральный ун-т им. В.И. Вернадского. 2022. Т. 8 (74). № 1. С. 177–187.
11. Ribé V. Applying the Triad method in a risk assessment of a former surface treatment and metal industry site / V. Ribé, E. Aulenius, E. Nehrenheim, U. Martell, M. Odlare // J. hazardous Materials. 2012. V. 207–208. Pp. 15–20. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.120>.
12. Dagnino A.S. A weight-of-evidence approach for the integration of environmental “triad” data to assess ecological risk and biological vulnerability / A.S. Dagnino, A. Sforzini, F. Dondero, S. Fenoglio, E. Bona, J. Jens // Integrated Environmental Assessment and Management. 2008. V. 4. № 3. Pp. 314–326.
13. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы / В.А. Терехова // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198.