

УДК 502.175 (574.14)

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ Г. АЛМАТЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ХИМИЧЕСКИМИ И МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

¹Мынбаева Б.Н., ²Макеева А.Ж.

*Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы,
e-mail: bmynbayeva@gmail.com;*

²*Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, e-mail: jibek6@mail.ru*

Изучение загрязнения тяжелыми металлами почв г.Алматы, проводили с помощью химического анализа установления их содержания в определенных участках города. Использование основного критерия загрязнения – предельно допустимой концентрации (ПДК), оказалось экологически не обоснованным, т.к. не соответствовало реальной оценке опасности тяжелых металлов для почвенной биоты. С помощью математических методов (корреляционно–регрессионный и дисперсионный анализ) обработки экологической информации удалось составить 5 прогнозных моделей. Отмечены недостатки системы мониторинга г. Алматы.

Ключевые слова: тяжелые металлы, предельно допустимая концентрация, корреляционно–регрессионный и дисперсионный анализ

ESTIMATION OF SOIL POLLUTION BY HEAVY METALS IN ALMATY CITY USING CHEMICAL AND MATHEMATICAL METHODS

¹Mynbayeva B.N., ²Makeeva A.Z.

¹Kazakh National Pedagogical University, Almaty, e-mail: bmynbayeva@gmail.com;

²Kazakh National Pedagogical University, Almaty, e-mail: jibek6@mail.ru

The research on soil contamination by heavy metals was undertaken in Almaty using chemical analysis of their content in certain sections of the city. The use of a maximum permissible concentration as the primary criteria of has proven to be environmentally unjustified because it was not a realistic estimate of the danger heavy metals for soil biota. Using mathematical methods (correlation, regression and variance analysis) of environmental information processing we managed to develop 5 forecast models. We noted limitations of monitoring system in Almaty city.

Keywords: heavy metals, maximum permissible concentration, correlation–regression and variance analysis

В отличие от воды и атмосферного воздуха, которые являются лишь миграционными средами, почва считается наиболее объективным и стабильным индикатором техногенного загрязнения, поскольку четко отражает эмиссию загрязняющих веществ (ЗВ) и их фактическое распределение на городской территории. ТМ накапливаются в почвенной толще, определенным образом влияют на экологию почв, подавляя развитие и биологическую активность многих педобионтов из-за своей высокой токсичности [1, 2, 3 и др.]. Появление большинства ТМ в городских почвах г. Алматы связано с увеличением количества автомобилей на дорогах города, т.к. основным источником Рb является использование этилированного бензина и сжигание органического топлива на теплоэлектростанциях; Cd–использование дизельного топлива в двигателях машин и смазочные масла; Zn – асфальтовое покрытие, шины машин.

Цель наших исследований: возможность использования ПДК и математических методов для создания прогнозных моделей в области мониторинга ТМ для их оценки и прогноза экологической опасности.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований выбраны образцы почв г. Алматы, в которых мы проводили химический анализ

содержания в них следующих тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn). Посты наблюдения за загрязнением находились в следующих почвенных участках, исследуемых в почвенном мониторинге города: т. 1 – Алматинский хлопчатобумажный комбинат (АХБК), т. 2 – парковая зона Казахского национального университета им. аль-Фараби (КазНУ), т. 3 – филиал Волжского автомобильного завода (ВАЗ), т. 4 – аэропорт, т. 5 – пр. Абая/ пр. Сейфуллина. Отбор проб почв производился 2 раза в год в течение 2005–2009 гг. согласно методике проведения почвенного мониторинга в ДГП «Центр гидрометеорологического мониторинга г. Алматы».

Согласно общепринятой методике отбора проб для проведения почвенного мониторинга [4] образцы почв были взяты на глубине 0–25 см методом «конверта» (в 5 повторностях).

Подготовку проб для определения ТМ (Pb, Cd, Cu и Zn) проводили по методике выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов [5]. Содержание ТМ определяли на атомно-абсорбционном спектрометре с электротермической атомизацией AA–6650 фирмы «Shimadzu» [6].

Полученные данные обрабатывались в прикладной программе Microsoft Excel для получения средних величин загрязнения и математическими методами корреляционно–регрессионного и дисперсионного анализа для составления прогнозных моделей загрязнения почв г. Алматы тяжелыми металлами с помощью программ «TotalComander 6.53-Sam» и «Mathcad».

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что в городских почвах накапливаются разнообразные соединения

естественного и антропогенного происхождения, обуславливающие загрязненность урбанизированных территорий. Основные их загрязнители – ТМ, присутствие которых связано с токсичностью почв, а их количество – со степенью токсичности.

Изучение содержания ТМ в почвенных образцах г. Алматы показало, что перекрестки с интенсивным транспортным движением имели полиметаллическое (Cd, Pb, Cu, Zn) загрязнение, но их содержание варьировало в зависимости от места отбора.

Сезонная зависимость загрязнения Cd нами не выявлена, значительные концентрации Cd наблюдались в почвах г. Алматы в 2005 г. с возрастанием в промышленных районах города (ВАЗ – 0,6 мг/кг и АХБК – 0,5 мг/кг), а также в почвах на автоперекрестке (пр.Абая/пр.Сейфуллина – 0,75 мг/кг): превышение составило в среднем 2,5 раза по сравнению с другими годами (рис. 1а). Пересчет по ПДК (0,5 мг/кг [7]) выявил значительное превышение по всем точкам отбора проб (рис. 1б).

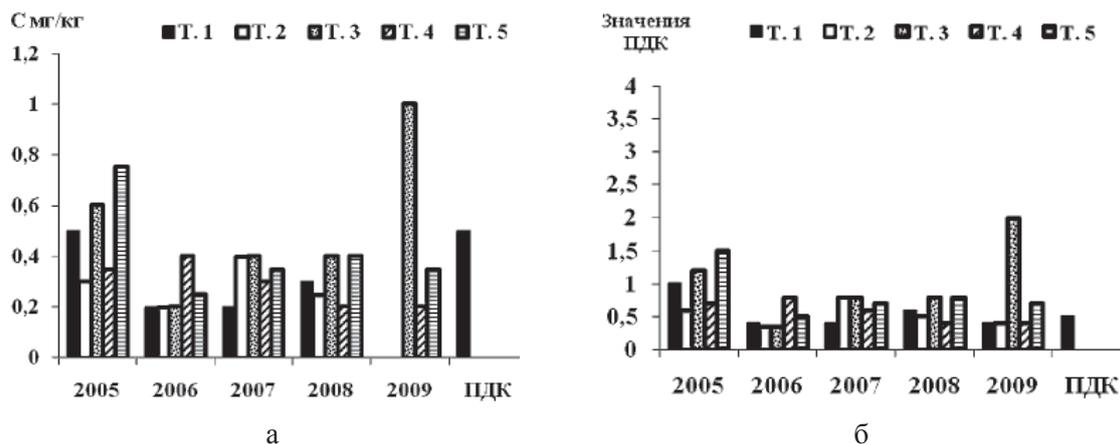


Рис. 1. Изменения концентраций (а) и ПДК (б) Cd в почвах г. Алматы

Загрязнение Pb почв г. Алматы было максимальным в 2005 г. (рис. 2а) с превышением ПДК Pb (32 мг/кг [7]) на пересечении пр.Абая/пр.Сейфуллина в 6 раз, в районе ВАЗа – в 3,5 раза. В осталь-

ные годы превышение ПДК Pb мы отметили также на автоперекрестке, ВАЗ и аэропорт. Таким образом, содержание Pb в почвах г. Алматы было большим, чем Cd (рис. 2б).

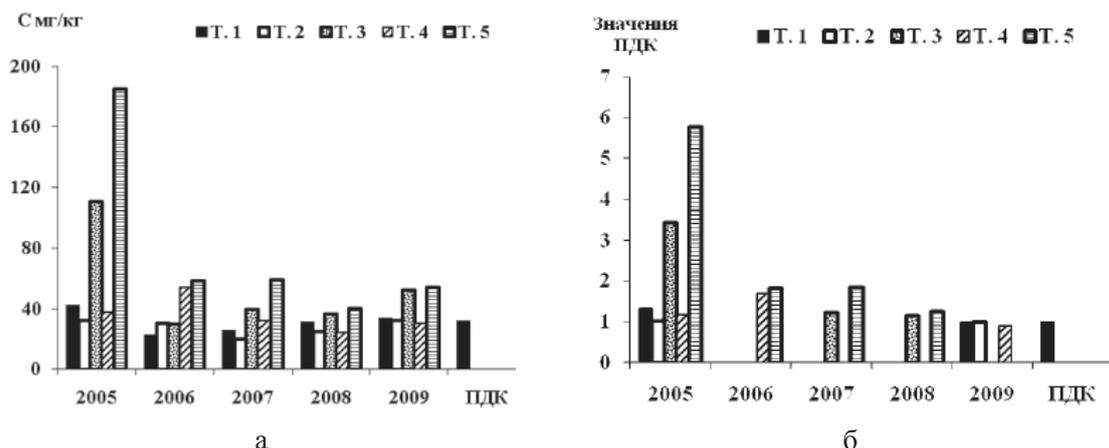


Рис. 2. Изменения концентраций (а) и ПДК (б) Pb в почвах г. Алматы

Самое значительное загрязнение почв Cu также отмечено в 2005 г. (рис. 3а,б) в районе ВАЗа (3,2 ПДК), затем аэропорта (2,4 ПДК), АХБК и перекрестка пр. Абая/пр. Сейфуллина (1,8–1,9 ПДК); минимальное загрязнение Cu, как и Pb и Cd обнаружено в почвенных образцах парковой

зоны КазНУ. В 2006–2007 гг. максимум отмечен на автоперекрестке; 2008–2009 гг. – уменьшение содержания. Сравнения ПДК Cu, равной 33 мг/кг почвы [7] представлены на рис. 3б. Таким образом, загрязнение по Cu почв г. Алматы было значительным.

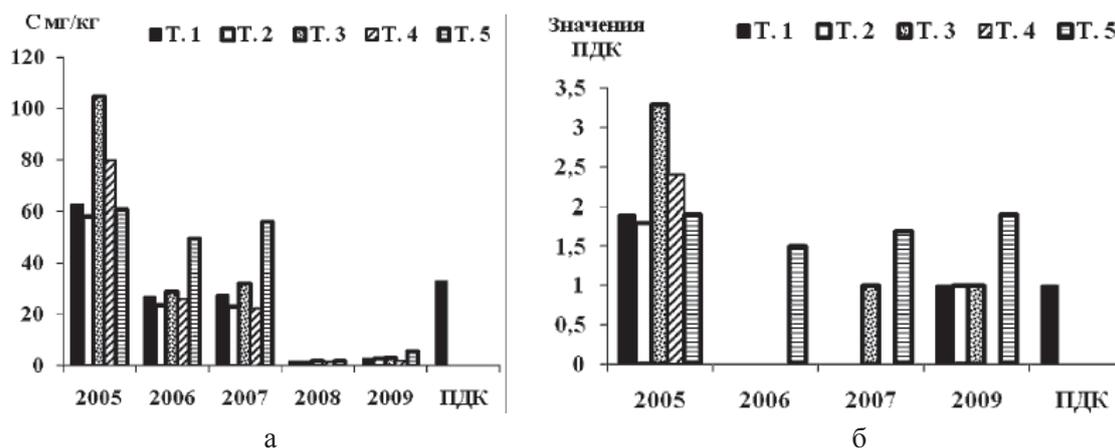


Рис. 3. Изменения концентраций (а) и ПДК (б) Си в почвах г. Алматы

Максимальное накопление Zn в почвах города отмечено в 2005 г., особенно в районе ВАЗа (2,3 ПДК) и аэро-

порта (2 ПДК). Самый низкий уровень загрязнения почв Zn – в 2006 г., ниже ПДК (рис. 4а,б).

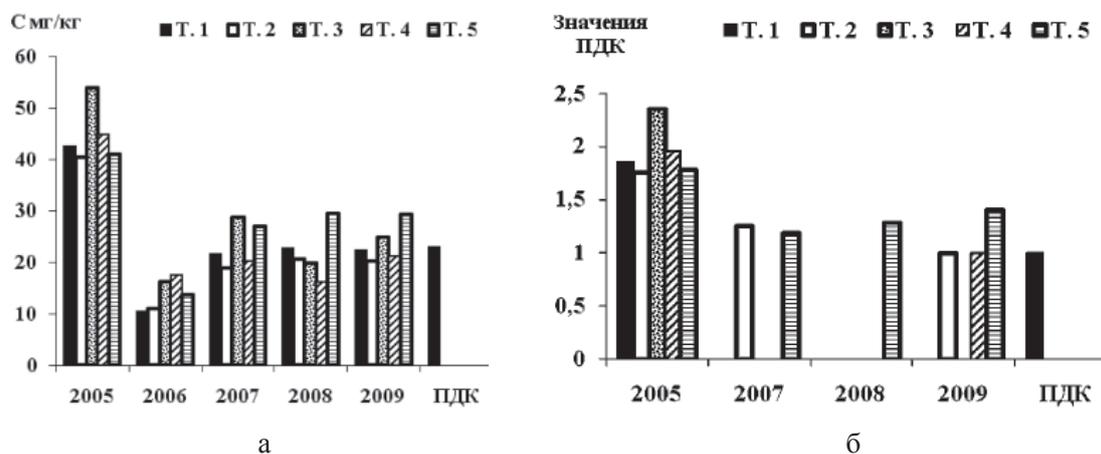


Рис. 4. Изменения концентраций (а) и ПДК (б) Zn в почвах г. Алматы

Стабильно высокие концентрации с превышением ПДК Zn (23 мг/кг [7]) наблюдали во все периоды отбора проб (кроме 2006 г.) с максимумом загрязнения в районе ВАЗа, на 2-м месте – пересечение пр.Абая/ пр.Сейфуллина (интенсивные транспортные потоки). В 2007–2009 гг. превышение ПДК отмечено также в транспортной магистрали (см. рис. 2б). Следовательно, загрязнение почв г. Алматы Zn присутствовало, с максимумом в 2005 г., и снижением загрязнения в последующие годы.

и для Zn от Cd:

$$Y = 19416,18 + .174 X. \quad (2)$$

Целью следующих исследований явилось выявление возможности определения концентрации одного металла по заданному значению другого и создание прогнозных моделей загрязнения почв Cd, Pb, Zn и Cu.

с высокими коэффициентами корреляции (рис. 5а,б). Таким образом, если знать содержание Cd, то по предложенным графикам можно вычислить концентрации Pb и Zn.

Однако выявлена слабая прямая регрессия Cu от Cd: эмпирическое уравнение регрессии

$$Y = 150497,5 - 978,733 \cdot X + 1,607 \cdot X^2(3)$$

и Cu от Pb – обратная линейная регрессия:

$$Y = -30017,53 + 1,831 \cdot X, \quad (4)$$

В районе АХБК была получена высокая сопряженность для Pb от Cd: эмпирическое уравнение регрессии

$$Y = 52682,69 + .356 X \quad (1)$$

что свидетельствовало о необходимости дополнительных измерений (рис. 6а,б). Следовательно, сильный разброс данных наблюдений Cu от Cd позволил нам рекомендовать выравнивание эмпирических рядов с помощью более тщательного анализа содержания Cu в пробах почв.

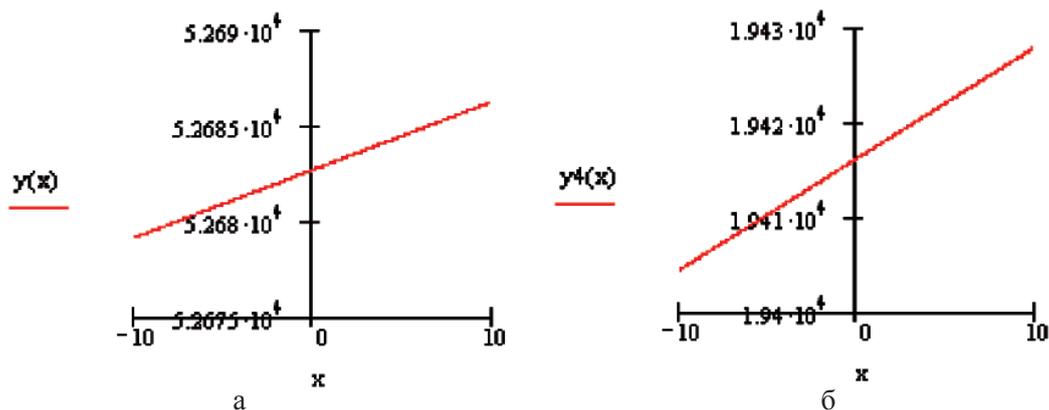


Рис. 5. Изменения корреляционно-регрессионных связей между Cd, Pb и Zn в почвах района АХБК

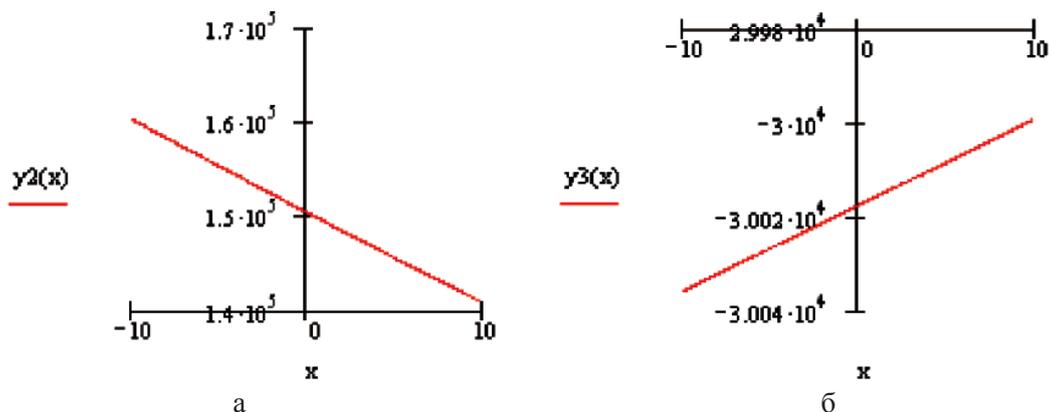


Рис. 6. Изменения корреляционно-регрессионных связей между Cu, Pb и Cd в почвах района АХБК

Проведенный нами дисперсионный анализ загрязнения почв в районе АХБК подтвердил прямые линейные зависимости между Pb, Zn и Cd и обратные – по отношению к Cu. Зоны доверительных интервалов небольшие (от 13 до 36%), значения критерия Фишера подтверждали линейность (прямую и обратную). Таким образом, концентрации Pb и Zn можно определить по значениям X (или Cd) с использованием полученных зависимостей.

Почвенные пробы в парковой зоне КазНУ содержали меньшее количество ТМ, чем остальная территория города, однако интерес к изучению зависимостей между ТМ сохранялся. Нами была получена корреляционная зависимость Pb и Cu от Cd и Zn от Cd: эмпирическое уравнение регрессии

$$Y = 147472,9 - 941,026 \cdot X + 1,805 \cdot X^2 \quad (5)$$

со слабой линейной корреляционной связью Pb от Cd (рис. 7а).

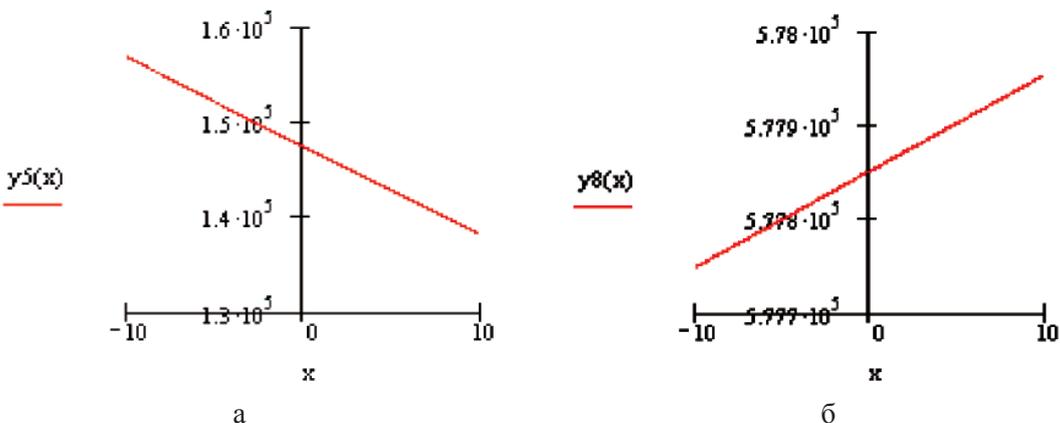


Рис. 7. Изменения корреляционно-регрессионных связей между Cu, Pb и Cd в почвах парковой зоны КазНУ

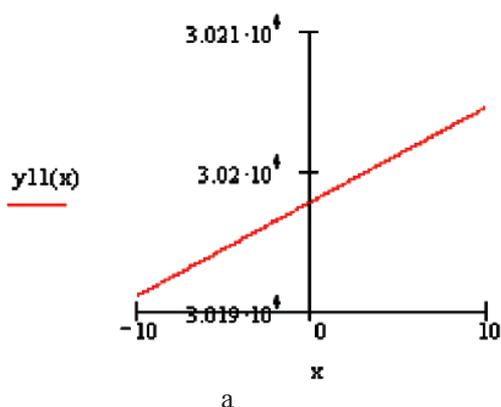
Вторая функциональная связь (рис. 7б) Cu от Cd имела линейное эмпирическое уравнение регрессии:

$$Y = 577852,5 + 10,328 \cdot X. \quad (6)$$

Нами установлена слабая корреляционно-регрессионная связь Zn и Cd: эмпирическое уравнение регрессии

$$Y = 33990,32 - 246,67 \cdot X + .775X^2 \quad (7)$$

выявило нелинейную регрессию Y от X . Проведенный дисперсионный анализ показал сильный разброс данных наблюдений за содержанием Zn от Cd. Таким образом, экологическое значение имеет определение содержания Pb и Cu по концентрации Cd, но не Zn.



В районе ВАЗа нами была получена зависимость высокой сопряженности Pb от Cu (рис. 8а) с эмпирическим уравнением регрессии

$$Y = 30197,85 + .676 \cdot X. \quad (8)$$

Все остальные связи Cu и Zn были от Cd:

$$Y = -59348,05 + 395,5 \cdot X - .326 \cdot X^2; \quad (9)$$

$$Y = -23105,73 - .148 \cdot X, \quad (10)$$

а также Pb от Zn

$$Y = -7946,868 + 2,127 \cdot X \quad (11)$$

и имели обратную связь между ТМ (рис. 8б).

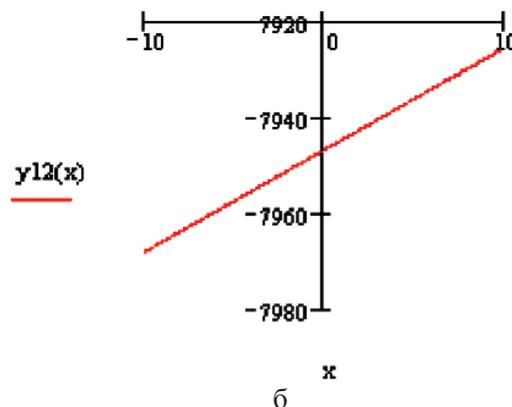


Рис. 8. Изменения корреляционно-регрессионных связей Pb от Cu и Zn в почвах района ВАЗа

Дисперсионный анализ показал разброс индивидуальных данных наблюдений за содержанием ТМ, возможно, сказалось значительное воздействие других факторов, поэтому по полученным графикам в этих почвенных образцах можно определить только Pb от Cu.

Изучение нами корреляционно-регрессионных связей между ТМ в почвенных пробах в районе аэропорта показало прямую регрессию Pb от Zn:

$$Y = 78406,66 - 447,151 \cdot X + .961 X^2 \quad (12)$$

с высоким коэффициентом корреляции, но небольшую достоверную зону измерений, поэтому использовать данную модель для определения концентраций Pb не рекомендуется (рис. 9а). Более достоверная эмпирическая модель была получена при сравнении Pb от Zn

$$Y = 34163,67 + .063 \cdot X. \quad (13)$$

Совпадение определений результатов измерения Pb составило 22% (рис. 9б).

Корреляционное поле и дисперсионный анализ подтвердили большие отклонения и невозможность определения зависимостей большинства ТМ в почвенных образцах в районе аэропорта.

В почвенных образцах в районе интенсивного транспортного движения на пересечении

пр. Абая/пр. Сейфуллина нами была получена корреляционная зависимость с высокой сопряженностью между Pb от Cu и от Zn:

$$Y = 41362,88 + 1,132 \cdot X; \quad (14)$$

$$Y = 52582,26 + 3,23 \cdot X \quad (15)$$

между ТМ (рис. 10а,б). По другим ТМ мы не обнаружили корреляционно-регрессионных связей.

Дисперсионный анализ и корреляционное поле отразили выявленные зависимости. Следовательно, мы получили пять прогнозных моделей загрязнения почв ТМ.

Таким образом, нами было установлено значительное загрязнение почв г. Алматы тяжелыми металлами (1,7–6 ПДК Pb, 1,6 ПДК Cd, 3,2 ПДК Cu и 1,1–1,5 ПДК Zn) за период наблюдений с 2005 по 2009 г., что свидетельствовало о большом экологическом риске проживания людей в городе. Но использование нормативов ПДК не дало нам возможности оценить реальные последствия загрязнения ТМ для городской почвенной биоты, что совпадает с мнением В.Д. Федорова [8] и В.А. Абакумова, Л.М. Суценя [9], исследовавших водные экосистемы.

Нами составлено для почв г. Алматы 5 прогнозных моделей по их загрязнению.

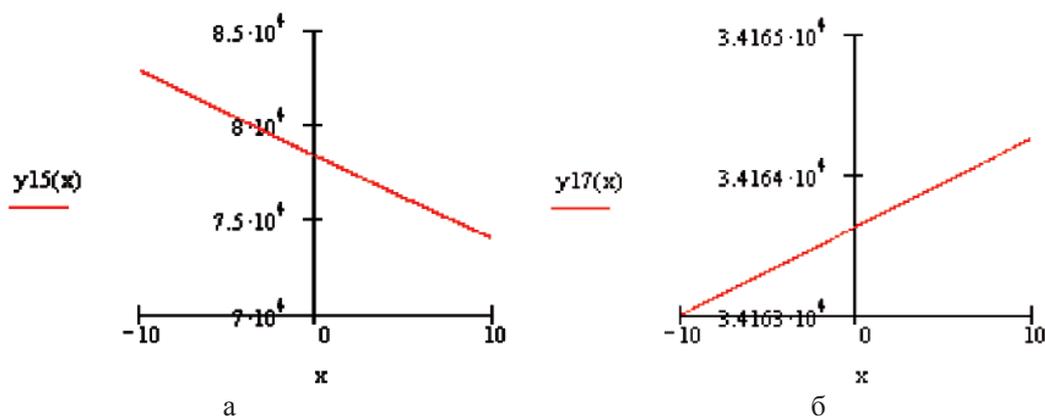


Рис. 9. Изменения корреляционно-регрессионных связей Pb от Cd (а) и Zn (б) в почвах в районе аэропорта

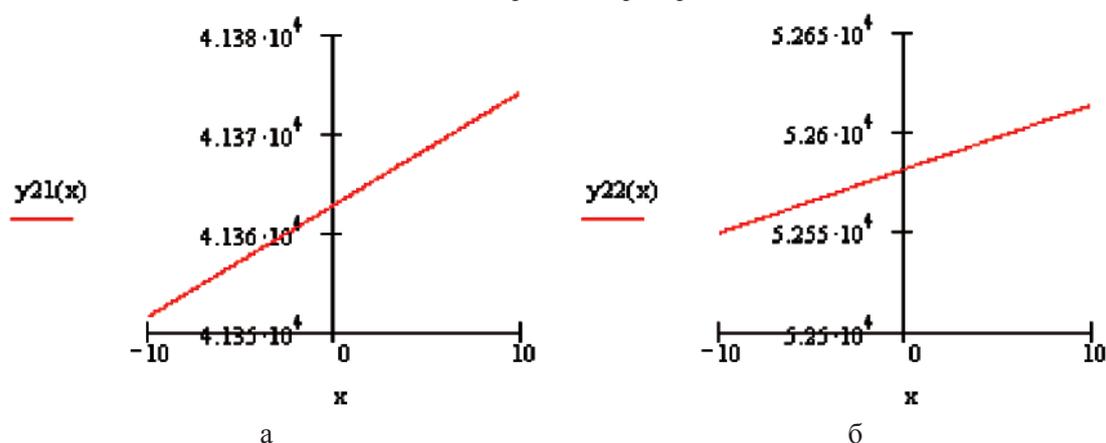


Рис. 10. Изменения корреляционно-регрессионных связей Pb от Cu (а) и Pb от Zn (б) в почвах на перекрестке пр. Абая/пр. Сейфуллина

Следовательно, полученные результаты позволили выявить недостатки системы мониторинга г. Алматы по конкретным пунктам наблюдений: частота отбора проб и качество химического определения ТМ в них. Кроме того, нами подтверждено, что действующая в настоящее время система экологического мониторинга, основанная на концепции ПДК загрязняющих веществ, является экологически не обоснованной, экстраполяция нормативов ПДК на реальные природные объекты неправомерна и не позволяет выявить многочисленные последствия влияния ТМ на городскую биоту. Поэтому, в дальнейшем мы поставили цель исследовать и предложить систему показателей биологического мониторинга, с помощью которого можно определить причинно-следственную связь между уровнем воздействий ТМ на биоту и откликом биоты на них.

Список литературы

1. Скворцова И.Н., Строганова М.Н., Николаева Д.А. Азотобактер в почвах города Москвы // Почвоведение. – 1997. – № 3. – С. 1–8.
2. Свистова И.Д., Талалайко Н.Н., Щербаков А.П. Микробиологическая интоксикация урбаноземов г.Воронежа // Вестник ВГУ. Серия Химия. Биология. Формация. – 2003. – № 2. – С. 146–150.

3. Пляскина О.В., Ладонин Д.В. Загрязнение городских почв тяжелыми металлами // Почвоведение. – 2009. – № 7. – С. 877–885.

4. ГОСТ 17.4.3.01–83. Общие требования к отбору проб. (СГ СЭВ 3347-82). – М., 1983. – 44 с.

5. ГОСТ 28168-89. Общие требования к отбору проб. – М., 1989. – 52 с.

6. РД 52.18.269-90. Методика выполнения измерения массовой доли подвижных форм металлов. – М.: Госкомитет СССР по «Гидрометеорологии», 1990. – 35 с.

7. Совместный приказ № 21–п. Министерства здравоохранения РК от 30.01.2004 г. № 99 и Министерства охраны окружающей среды РК: утв. 01.02.2004. – Астана, 2004. – 17 с.

8. Федоров В.Д. Новый показатель неоднородности структуры сообщества // Вестник МГУ. Серия Биология. – 1973. – № 2. – С. 94–96.

9. Абакумов В.А., Сушеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: тезисы докл. междунар. симп. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – С. 41–51.

Рецензенты

Бердышев А.С., д.ф.-м.н., профессор кафедры информатики и информатизации образования Института магистратуры и докторантуры, г. Алматы;

Курманбаев А.А., д.б.н., профессор, зав. лабораторией экологии микроорганизмов Института микробиологии и вирусологии КН МОН РК, г. Алматы.

Работа поступила в редакцию 07.06.2011.