УДК: 574.64:576.08:57.084.1

Тяжёлые металлы в почвах различных функциональных зон современного мегаполиса и гигиеническая оценка риска здоровью

М.А. Казимов, В.М. Казимова
Азербайджанский медицинский университет, Баку

Адрес электронной почты автора: kazimovmirza@rambler.ru

Açar sözlər: ağır metallar, torpaq, şəhərin funksional zonaları, sağlamlıq riski
Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, функциональные зоны города, риск здоровью.
Key words: heavy metals, soil, functional zones of the city, health risk.

Непрерывное развитие современной техники и технологии в различных отраслях промышленного производства, как известно, сопровождается интенсификацией процессов урбанизации в крупных городах. Активное жилищное и дорожно-хозяйственное строительство, развитие транспортной сети, проведение новых и ремонт существующих коммуникационных сооружений в формировавшихся мегаполисах приводят к техногенному загрязнению среды токсическими выбросами автотранспорта, промышленных предприятий, тепловых электростанций и др. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки происходит снижению качества объектов окружающей среды (атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвы, продуктов сельскохозяйственного производства) и повышение риска неблагоприятного воздействия среды на здоровье людей [1, 2, 3, 4, 5].

Среди антропогенных выбросов, представляющих большую угрозу для здоровья населения, тяжелым металлам принадлежит приоритетное место как по уровню, так и по токсичности и опасности [6, 7, 8]. В работах многих авторов подчеркивается, что многие тяжелые металлы необходимы для живых организмов, так как активно участвуют в биохимических процессах. Попадая в окружающую среду, тяжелые металлы длительное время накапливаются в почве, где интенсивно включаются в биологический круговорот. При избыточном накоплении в почве проявляют свои токсические свойства, влияют на экологию почвы, передаются по пищевым цепям, вызывая множество неблагоприятных эффектов на различных ступенях, в том числе в организме человека как конечного звена экологической цепи. При накоплении в продуктах растительно-го происхождения в повышенных концентрациях, тяжелые металлы способны вызывать различные токсические эффекты у людей - от преморбидного состояния до тяжелых отравлений токсического генеза [9, 10, 11,12].

Определение количественных и качественных показателей тяжелых металлов в почвах различных функциональных зон современных городов дает возможность оценить степень опасности загрязнения для здоровья населения, а также своевременно принять меры по устранению или минимизации последствий негативного воздействия поллютантов на городскую среду.

Целью исследования было определение содержания наиболее распространенных в объектах окружающей среды токсических тяжелых металлов в почвах различных функциональных зон современного мегаполиса с последующей гигиенической оценкой риска для здоровья людей.

Материалы и методы исследования. В работе в качестве объекта исследования был выбран высоко урбанизированный Бакинский мегаполис с многомиллионным населением. Зоны наблюдения были выбраны в соответствии с утвержденными методическими указаниями [13] и включали административная зона города, жилой микрорайон как селитебная зона, а также промышленная зона (с промышленными инфраструктурами), придорожные территории автомагистралей и пригородная зона.

Отбор проб почвы из участков выбранных территорий, их химический анализ и гигиеническая оценка полученных результатов проведены в соответствии с официально нормативными документами [14]. В отобранных пробах были определены Pb, Cd, Cr, Ni, Cu и Zn методом атомно-абсорбционной спектрофотомерии (ААС). Исходным показателем загрязнения явилось содержание металлов в единой массе почвы (мг/кг). Показателем оценки опасности загрязнения служил вычисленный коэффициент концентрации (K_c) химического вещества (или коэффициент опасности), представляющий отношение

фактической концентрации каждого компонента (C_c) к соответствующей предельно-допустимой концентрации ($C_{ПДК}$) по формуле:

$$К_c = C / C_{пдк},$$

Величина $К_c$ показывает, что опасность загрязнения почвы тем выше, чем больше фактические уровни контролируемых веществ в почве превышает ПДК.

На основании установленных коэффициентов концентрации был рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c), являющийся суммой коэффициентов концентраций химических элементов и определяется следующей формулой:

$$Z_c = \sum(К_c.+\dots К_{cn}) – (n-1),$$

где n – количество суммируемых химических веществ.

Оценка влияния загрязнений на здоровье населения осуществлялась изучением распространенности среди населения ряда заболеваний, в этиологии которых преимущественную роль могут играть тяжелые металлы. В этом плане было обращено внимание на уровни таких патологий, как болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания, крови и кроветворных органов, нарушения обмена веществ, новообразования и др. Информации о болезнях были взяты из официальных отчетов Государственного Статистического Комитета и Стат. Управления Министерства Здравоохранения Республики.

Статистическая обработка и анализ материалов исследования проводилась стандартными методами вариационной статистики с использованием пакета прикладных программ Statistic 10.0 и Microsoft Excel.

Результаты и обсуждения. При рассмотрении результатов анализа почвенных образцов, прежде всего, обращено внимание на концентрации металлов в почвах исследуемых территорий (таблица 1). Наибольшие уровни всех прослеживаемых металлов регистрируются на территориях, входящих в промышленную зону. Концентрации свинца, хрома, меди и цинка находились в пределах 37,66 - 68,59 мг/кг. В пробах почвы этой зоны установлены также наибольшие величины кадмия (2,58±0,042 мг/кг) и никеля (16,69±2,84 мг/кг). Несколько меньше, но, довольно значительное количество металлов обнаруживаются также в пробах почв придорожной территории автомагистрали, где концентрации свинца, хрома, меди и цинка составляли от 18,14±0,79 до 44,43±2,47 мг/кг. Установление различных концентраций тяжелых металлов в почвах, отличающихся друг от друга по назначению территорий, дает основание предполагать о разных источниках их эмиссии. Так, практически одинаковые уровни распределения свинца, кадмия и никеля во всех исследуемых районах (за исключением пригородной зоны) свидетельствуют об их диффузном рассеивании по всему городу и указывают на автотранспорт в качестве основного источника выделения этих элементов. Наоборот, довольно высокие концентрации хрома, меди и цинка в почвах промышленной зоны могут свидетельствовать об их индустриальном происхождении.

Таблица 1

Содержание металлов в почвах исследуемых зон города

Металлы	Исследуемые зоны и концентрации металлов в почвах, мг/кг					
	Администт. зона	Селитеб. зона	Промышл. зона	Придорож. зона	Пригор. зона	ПДК [15]
Pb	16,29±0,97	13,56±0,85	37,66±2,78	18,14±0,79	9,46±0,53	32,0
Cd	1,96±0,02	2,52±0,02	2,58±0,04	2,31±0,02	0,79±0,01	2,0
Cr	38,26±2,71	42,71±2,83	55,97±5,32	44,43±2,47	44,43±2,47	6,0
Ni	11,57±1,09	14,49±0,88	16,69±2,84	14,22±1,28	14,22±1,28	4,0
Cu	19,47±1,46	27,38±1,67	48,92±3,76	29,87±2,35	29,87±2,35	3,0
Zn	29,82±1,98	31,28±2,19	68,59±3,73	41,97±1,91	41,97±1,91	23,0

Сопоставление величин концентраций металлов с их ПДК в почве позволило определить коэффициенты опасности каждого компонента в отдельности. Из приведенных в таблице 2 данных видно, что практически, во всех исследуемых зонах содержания металлов в разной степени превышают их допустимых величин. При этом наибольшее превышение гигиенических нормативов отмечено в почвах промышленной зоны, где оно составило: для свинца – 6,28 раз; кадмия – 1,25 раз; хрома – 9,33 раза; никеля – 4,17 раз; меди – 16,31 раз; цинка – 2,98 раз. В почвах административного района и на территории селитебной зоны концентрации свинца, кадмия, никеля и цинка оказались невысокими, и коэффициенты опасности колебались в пределах 0,98 – 2,89. Только в почвах пригородной зоны

концентрации металлов определялись в незначительных уровнях, соизмеримых с нормативными величинами.

Для обоснованного определения приоритетных загрязнителей среди изученных металлов, поступающих в почву, был проведен расчет удельного вклада каждого токсического элемента в общий уровень загрязнения. Согласно данных таблицы 3, в административном районе города медь и хром имеют наибольшую и равную удельную значимость – по 30% у каждый. Эти же металлы занимают приоритетное место также в загрязнении почвы селитебных территорий: удельный вес меди и хрома составлял соответственно 36,89 и 28,77%. Рассмотрение данных таблицы 3 свидетельствует о приоритетном положении хрома и меди, практически, во всех исследуемых территориях города. Следовательно, приоритетными загрязнителями почвы высоко урбанизированного города в данном случае являются хром и медь, а территориями риска для проживания населения, могут считаться промышленная и примагистральная зоны города, об этом более убедительно свидетельствуют также данные рисунка 1, где приведены суммарный коэффициент опасности загрязнения почвы наблюдаемых территорий.

Таблица 2

Коэффициенты опасности ($К_с$) загрязнения почв тяжелыми металлами

Исследуемые зоны города	Коэффициент опасности почвы ($К_с$)					
	Pb	Cd	Cr	Ni	Cu	Zn
Административный зона	0,51	0,98	6,38	2,89	6,49	1,30
Селитебная зона	0,42	1,26	7,12	3,62	9,13	1,36
Промышленная зона	1,18	1,25	9,33	4,17	16,31	2,98
Придорожная зона	0,57	1,16	7,40	3,56	9,95	1,87
Пригородная зона	0,30	0,40	1,96	1,82	5,02	1,05

Таблица 3

Удельный вклад каждого металла в общую загрязненность почвы

Исследуемые зоны города	Удельный вклад каждого металла, %					
	Pb	Cd	Cr	Ni	Cu	Zn
Административный зона	13,10	4,72	30,73	13,92	31,26	6,26
Селитебная зона	9,13	5,09	28,77	14,62	36,89	5,49
Промышленная зона	15,58	3,10	23,14	10,34	40,45	7,39
Придорожная зона	11,20	4,30	27,45	13,20	36,91	6,94
Пригородная зона	9,98	2,53	12,38	11,50	31,71	6,63

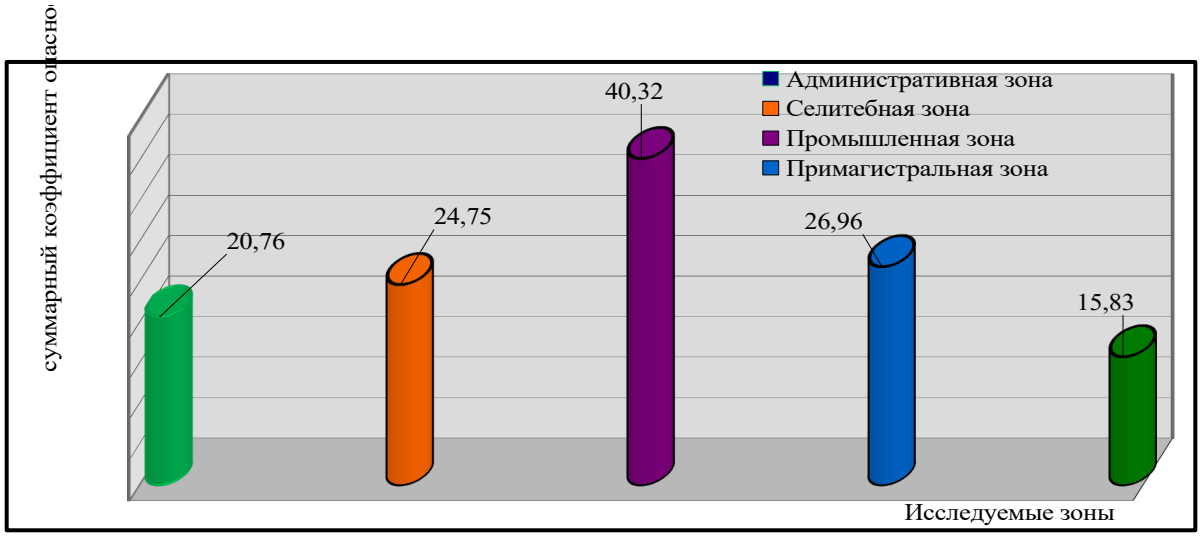


Рисунок 1. Величины суммарного коэффициента опасности ($\sum К_с$) загрязнения почвы исследуемых зон тяжелыми металлами

Для гигиенической оценки опасности уровня загрязнения почвы исследуемых территорий тяжелыми металлами были рассчитаны суммарные показатели загрязнения ($Z_с$) почв. Полученные

данные сопоставлены с известной оценочной шкалой [14]. Как видно из таблицы 4, территория административного района города и пригородная зона по степени загрязнения почвы не представляют опасность для проживания людей, поскольку суммарный показатель загрязнения этих районов не превышает допустимых уровней (<16). Наряду с этим, территории жилых микрорайонов и примагистральные зоны по степени загрязненности входят в категорию умеренно опасных зон, где прогнозируется увеличение общей заболеваемости населения. А если к этому добавить еще тот факт, что в этих районах основным источником загрязнения окружающей среды является всевозрастающий автотранспорт, выбросы которого значительно токсичнее, чем выбросы, производимые стационарными источниками, в перспективе следует ожидать возможность распространения более специфических экологически обусловленных патологий среди населения.

Таблица 4
Основные показатели, характеризующие загрязнение почв исследуемых зон города тяжелыми металлами

Исследуемые зоны	Z_c	Категория загрязнения почв
Административный зона	15,76	(менее 16) допустимая
Селитебная зона	19,75	(16 - 32) умеренно опасная
Промышленная зона	35,32	(32 - 128) опасная
Придорожная зона	21,96	(16 - 32) умеренно опасная
Пригородная зона	6,83	(менее 16) допустимая

Что касается промышленной зоне, то степень загрязнения тяжелыми металлами почвы этих районов характеризуется как опасная, где согласно оценочной шкале, следует ожидать «увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы» [14].

Результаты анализа заболеваемости населения изучаемых районов установили, прежде всего, различия в уровнях общей заболеваемости населения в зависимости от районов проживания. Как видно из рисунка 2, наибольшие уровни общей заболеваемости регистрируется среди населения промышленного района, характеризующегося интенсивным техногенным загрязнением среды обитания. Величина ее находится на уровне 41,91±3,03 случаев на 10000 человек и достоверно превышает аналогичные показатели других наблюдаемых районов.

Рассмотрение уровней и характера распространенности отдельных групп патологий среди населения каждого наблюдаемого района показало, что по частоте встречаемости приоритетное место среди различных групп заболеваний занимают болезни органов дыхания. В разных зонах уровни этих патологий находятся в пределах 52,24-129,30 случаев на 1000 человек. При этом максимальная величина (129,30±4,62 случаев соответствует промышленной зоне. Сравнительно высокие уровни патологий органов дыхания установлены в административном районе (70,55±6,08 случаев на 1000 человек) и примагистральной зоне (59,84±2,16 случаев). В селитебной и пригородной зонах уровни этой группы болезней составляли 47,60±2,68 и 52,24±1,22 случаев на 1000 человек соответственно. Высокий уровень патологий органов дыхания в структуре общей заболеваемости населения в крупных промышленных центрах установлен также другими исследователями, которые считают одной из главных причин в этом интенсивное загрязнение атмосферного воздуха преимущественно автотранспортом [16, 17].

Следующее место по ранговому расположению занимают болезни сердечно-сосудистый системы. Согласно данных рисунка 2, максимальные уровни этой группы патологий (58,30±2,49 случаев) регистрируются на промышленной зоне, \поскольку территория этого района больше остальных подвергается техногенному прессингу.

Учитывая характер загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами различными предприятиями и автотранспортом, наличие в составе выбросов прослеживаемых таких токсикантов, как свинец, кадмий, хром и др., а также эффекты их токсического действия, высокие уровни сердечнососудистых патологий среди населения разных функциональных районов города считаются ожидаемыми. Ведущее место автотранспорта среди имеющихся городских техногенных источников загрязнения определяет его как гигиенически значимым фактором риска развития сердечнососудистых патологий у населения [18, 19]. Этим обусловлена высокая распространенность сердечнососудистых

заболеваний в исследуемых районах, включая и пригородные зоны (предел колебания 36,63 - 51,70 случаев, за исключением промышленного района).

Среди других групп патологий третье ранговое место занимают болезни эндокринной системы. Уровни этих заболеваний составляют 28,60-21,92 случаев на 1000 человек. При этом максимальные показатели регистрируются в промышленном районе (28,60±2,06 случаев на 1000 человек).

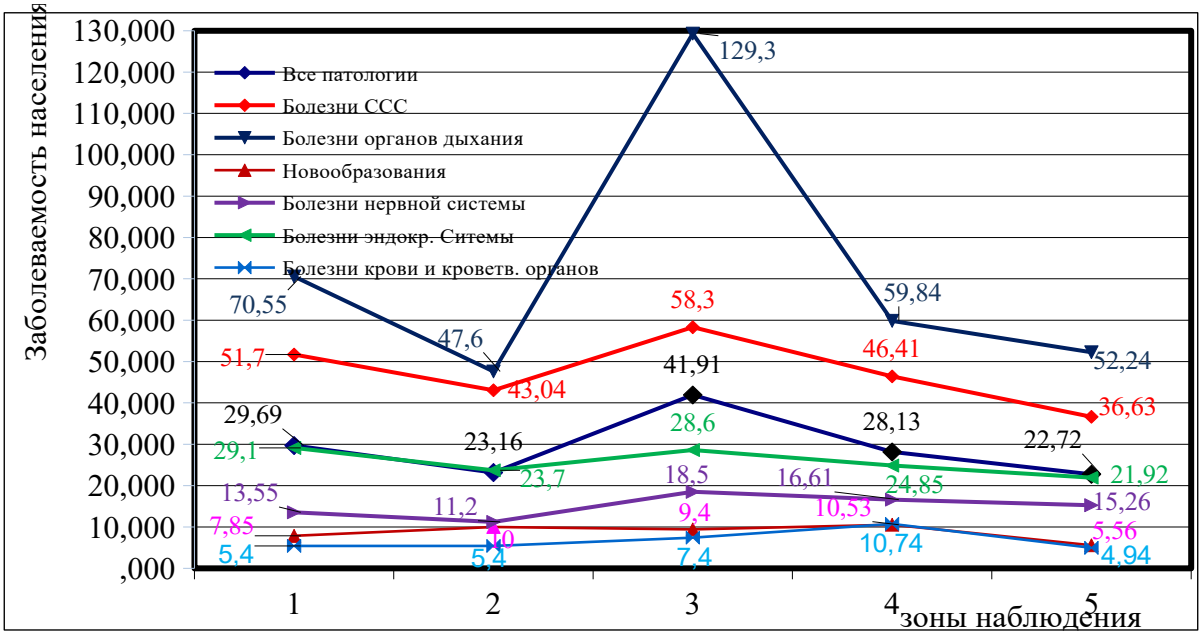


Рисунок 2. Распространенность всех патологий (на 10000 чел.) и некоторых групп заболеваний (1000 чел.) среди населения, проживающего на разных функциональных зонах мегаполиса: 1- административная зона, 2- селитебная зона, 3- промышленная зона, 4 - примагистральная зона, 5- пригородная зона

Таким образом, проведенными исследованиями было установлено, что рассеянность тяжелых металлов на территории бакинского мегаполиса определяется в основном типами городского землепользования. Значительная часть территории города находится под техногенно обусловленным прессингом из-за насыщенности преимущественно мобильными и ряда стационарными источниками загрязнения и недостаточности естественных обезвреживающих ресурсов. В связи с этим увеличивается степень экологического риска для здоровья населения преимущественно промышленных районов. Техногенно обусловленная неблагополучная экологическая ситуация, наблюдаемая в некоторых районах города, требует разработки действенных и более эффективных мероприятий по минимизации техногенных выбросов (содержащих тяжелые металлы) в среду обитания горожан и обеспечения безвредных и безопасных условий для их проживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов А. И., Хаптухаева Н.Н., Бадмаев Н.Б. Опустынивание и загрязнение тяжелыми металлами урбанизированных территорий (на примере г. Закаменск Республики Бурятия) // Вестник Бурятского государственного университета // Биология, география. 2019, № 2, с.57–70.

2. Новикова Н.С., Довганюк А.И. Оценка степени загрязнения тяжёлыми металлами почв в условиях городской среды // Вестник ландшафтной архитектуры, 2020, № 23, с. 51-54.

3. Осипова Н.А., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г. Воздействие тяжелых металлов почвы как фактор риска для здоровья населения (на примере территорий угледобывающих регионов) // Успехи современного естествознания, 2022, № 12, с. 124-135

4. Череватенко А.А. Экологические факторы риска для здоровья населения // Журнал фундаментальной медицины и биологии, 2018, № 3, с. 39-45.

5. Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M. et al. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination // Environmental Geochemistry and Health, 2018, 40, p. 2395-2420.

6. Казимов М.А., Ахмедзаде Л.А. О содержании тяжелых металлов в почвах территорий, прилегающих к автомагистралям / Труды Национального научно-исследовательского института медицинской профилактики им. В.Ахундова Министерства Здравоохранения Азербайджана, 2007, том 1, с.89-93.

7. Онищенко Г. Г. Актуальные задачи гигиенической науки и практики в сохранении здоровья населения // Гигиена и санитария, 2015, 94(3), с.5-9.

8. Qian Y., Gallagher F., Deng Y. et al. Risk assessment and interpretation of heavy metal contaminated soils on an urban brownfield site in New York metropolitan area // Environmental Science and Pollution Research., 2017, v. 24, p. 23549-23558.

9. Жарикова Е.А. Тяжёлые металлы в городских почвах: Оценка содержания и экологического риска // Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов, 2021. Т. 332. № 1, с. 164–173.

10. Мынбаева Б.Н., Макеева А.Ж. Оценка загрязнения почв г. Алматы тяжелыми металлами химическими и математическими методами // Фундаментальные исследования, 2011, №10-1, с.131-136

11. Новиков С.Г. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска // Труды Карельского научного центра Российской академии наук, 2015, № 1, с.78-85

12. Konstantinova E., Minkina T., Sushkova S. Urban soil geochemistry of an intensively developing Siberian city: A case study of Tyumen, Russia // Environ Manage. 2019, №1, p. 239:366-375.

13. Методические указания по вопросам сбора, обработки и порядка представления данных об изменениях состояния здоровья населения, связанных с загрязнением окружающей среды. № 3861-85, М.: ГКСЭН РФ, 1985, 36 с.

14. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания МУ 2.1.7.730-99, М.: Минздрав России, 1999, 42 с.

15. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве", утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года. М.: Минздрав России, 2006, 38 с.

16. Даутов Ф.Ф., Хакимова Р.Ф., Юсупова Н.З. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на аллергическую заболеваемость детей в крупном промышленном городе // // Гигиена и санитария. 2007, №2. с. 10-12.

17. Стамова Л.Г., Чеснокова Е.А. Загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на заболеваемость органов дыхания у детей // Гигиена и санитария, 2005, №5, с. 28-30.

18. Бусырев С.А. Свинец и его влияние на здоровье детей на примере г. Первоуральска Свердловской области // Здоровье населения и среда обитания, 2004, № 3 (134), с. 38-41.

19. Дементьев А.А. Загрязнение атмосферного воздуха соединениями свинца и продуктами сгорания топлива // Современные проблемы науки и образования, 2013, № 3, с. 20-22.

Xülasə

Müasir meqapolisin müxtəlif funksional zonalarının torpaqlarında ağır metallar və sağlamlıq üçün riskin gigiyenik qiymətləndirilməsi

M.A. Kazımov, V.M. Kazımova

Tədqiqatın aktuallığı böyük bir meqapolisin müxtəlif ərazilərinin torpaqlarında ağır metalların toplanmasının xüsusiyyətlərini müəyyən etmək və əhalinin sağlamlığı üçün potensial riskin xüsusiyyətlərini müəyyən etməklə əlaqədardır. Tədqiqatın predmeti çoxmilyonlu əhalisi olan şəhərin inzibati mərkəzinin, yaşayış və sənaye zonalarının, magistral yollara bitişik ərazilərin və şəhərətrafı ərazilərin torpaqlarında bəzi ağır metalların (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu və Zn) miqdarının öyrənilməsi olmuşdur. Torpaq nümunələrində ağır metalların təyini AAS üsulu ilə aparılmışdır. Müxtəlif funksional zonaların torpağın çirklənmə dərəcəsi aşağıdakı ardıcıllıqla artır: şəhərətrafı zona <inzibati mərkəz <yaşayış zonası <avtomobil yollarına bitişik ərazilər <sənaye zonası. İnzibati rayonun ərazisi və şəhərətrafı zona torpağın çirklənmə dərəcəsinə görə insanların yaşaması üçün təhlükə yaratmır, çünki bu ərazilərin çirklənmə dərəcəsinin cəm göstəricisi yol verilən həddi keçmir. Yaşayış və avtomagistral ətrafı zonalarının torpaqları çirklənmə dərəcəsinə görə orta

təhlükəli, sənaye zonasında torpağın çirklənmə dərəcəsi isə təhlükəli kimi səciyyələndirilir. Müəyyən edilmişdir ki, şəhərin tədqiq edilən ərazi torpaqlarının prioritet çirkləndiricilərinə xrom və mis aiddir, sənaye zonası və avtomagistral ətrafı zonalar isə əhalinin yaşaması üçün risk zonaları hesab edilə bilər. Bu ərazilərdə yaşayan əhali arasında həm ümumi xəstələnmələrin, həm də ayrı-ayrı patologiya qruplarının nisbətən yüksək səviyyəsi aşkar edilmişdir.

Summary
Heavy metals in soils of various functional zones of a modern megapoles and hygienic assessment of health risks
M.A. Kazimov, V.M. Kazimova

The relevance of the study is due to the need to identify the characteristics of the accumulation of heavy metals in the soils of various territories of a large megapoles and to establish the characteristics of the potential risk to public health. The subject of the study was to study the content of some heavy metals (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu and Zn) in the soils of the administrative center, residential and industrial zones, areas adjacent to highways, and the suburban area of a city with a population of many millions. Chemical determination of heavy metals in soil samples was carried out using the AAS method. The degree of soil contamination of various functional zones increases in the following order: suburban zone <administrative center <residential zone <highway areas <industrial zone. The territory of the administrative district and the suburban zone do not pose a danger to human habitation in terms of the degree of soil contamination, since the total pollution rate of these areas does not exceed permissible levels. The territories of residential and highway zones are classified as moderately hazardous in terms of the degree of pollution, and the degree of soil contamination in the industrial zone is characterized as dangerous. It has been established that the priority soil pollutants in the city are chromium and copper, and industrial and highway zones can be considered risk areas for population living. In these areas, a relatively high level of both general morbidity and certain groups of pathologies among the population was revealed.

Daxil olub: 18.12.2024