

УДК 504.54

ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНОЙ ФОРМЫ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ В УРБОЛАНДШАФТАХ Г. АХТУБИНСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Волкова И.В., Гончар Л.В., Сафаралиева А.Р.

ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, e-mail: tulipa-ry@mail.ru

В работе представлены результаты исследования пространственного распределения подвижной формы некоторых металлов в урбандшафте города Ахтубинска Астраханской области. В почве урбандшафта определялись концентрации следующих элементов: Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Mn, Fe. Содержание некоторых металлов оценивалось при помощи общепринятых показателей загрязнения почв: коэффициент концентрации химического вещества (Кс), суммарный показатель загрязнения (Zс) и интегральный оценочный балл (Б). Классификация модельных площадок исследуемой территории по совокупности признаков (Zс, Б) проводилась методом агломеративного иерархического кластерного анализа. Выявлено превышающее в 1,1 – 1,4 предельно допустимую концентрацию содержание Cu в почве на 8 % территории урбандшафта. Определён полиэлементный характер пространственного загрязнения тяжёлыми металлами почв населённого пункта относительно местных фоновых концентраций. По суммарным показателям загрязнения 66 % урбандшафта города Ахтубинска и его окрестностей относится к низкой категории опасности загрязнения по содержанию подвижной формы некоторых металлов, при этом 34 % территории – к категории со средним (умеренно опасным) загрязнением.

Ключевые слова: экологический мониторинг, урбандшафт, металлы в почве, город Ахтубинск, Астраханская область.

CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE OF MOBILE FORMS OF SOME HEAVY METALS IN URBAN LANDSCAPES IN AKHTUBINSK AND ITS LOCAL AREAS

Volkova I.V., Gonchar L.V., Safaraliev A.R.

FSBEI HPE «Astrakhan State Technical University», Astrakhan, e-mail: tulipa-ry@mail.ru

The paper presents the results of the study of the territorial distribution of mobile forms of some metals in urban landscapes in Akhtubinsk in the Astrakhan region. In soil of the urban landscapes the concentrations of the following elements: Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Mn, Fe were determined. The content of certain metals was evaluated by conventional soil pollution indicators: ratio of chemical concentration (Cs), the total index of pollution (Zc) and integrated assessment score (B). Classification of model sites of the studied area by a set of parameters (Zc, B) was carried out by means of agglomerative hierarchical cluster analysis. The content of Cu in soil on 8 % of the urban landscape territory was 1.1 – 1.4 higher than the maximum allowable concentration. The polyelement origin of territorial contamination of soils in the settlement with heavy metals was determined relatively to local background concentrations. By the total pollution indicators 66 % of urban landscape in Akhtubinsk and its surrounding areas belong to the category of low risk of pollution by the content of mobile forms of certain metals, but 34 % of the territory – to the category with an average (moderately hazardous) contamination.

Keywords: ecological monitoring, urban landscape, metals in soil, Akhtubinsk, Astrakhan region.

Городские почвы (урбоземы) формируются в условиях больших антропогенных нагрузок, поэтому сильно отличаются от естественных аналогов. Даже при сравнительно низких уровнях техногенного загрязнения концентрации некоторых металлов в почвах постоянно возрастают, металлы включаются в биогеохимический круговорот, накапливаются в звеньях трофических цепей питания флоры и фауны и практически не выводятся или слабо выводятся из экосистем [1].

Уровень общего содержания загрязняющих веществ в почве часто не дает возможности оценить реальную угрозу их для биосферы. Оценка загрязненности почв по валовому содержанию некоторых металлов не позволяет определить их подвижность, способность переходить в сопредельные среды, прежде всего в растения и природные воды. Более информативным являются показатели подвижности некоторых металлов. Для фоновых, незагрязненных почв характер распределения некоторых металлов зависит от особенностей процессов почвообразования. Всестороннее исследование загрязненных почв занимает важное место в мониторинге окружающей среды и весьма актуально для оценки складывающейся на современном этапе экологической ситуации. Поскольку для загрязненных ландшафтов характерно именно полиметальное загрязнение почвенного покрова, распределение некоторых металлов по формам их соединений при совместном поступлении требует особого внимания [3].

Материалы и методы

Содержание подвижной формы некоторых металлов в почве города Ахтубинска и его окрестностей было изучено для оценки опасности загрязнения урбанизированной среды. Населённый пункт состоит из четырёх основных частей: центральной части, посёлков Петропавловка, Владимировка, Ахтуба. На территории города выделены четыре зоны по виду антропогенного воздействия (далее зоны), представленные во всех его частях: рекреационная (РЗ), жилая (ЖЗ), транспортная (ТЗ) и промышленная (ПЗ). Также в окрестностях населённого пункта определена интактная зона (ИЗ) на особо охраняемых природных территориях Астраханской области, имеющих статус природных парков, «Волго-Ахтубинское междуречье» и «Баскунчак».

Территория города Ахтубинска и его окрестностей была обследована выборочно на 42 модельных площадках (МП) площадью 100 м² в соответствии с зонированием территории по виду антропогенного воздействия. При этом 38 модельных площадок находилось на урбанизированной территории, 4 модельных площадки – в интактной зоне в качестве местной фоновой территории. Изучению подлежали 42 пробы поверхностного слоя почв модельных площадок, на содержание подвижной формы следующих элементов: Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Mn, Fe. Определение содержания ТМ выполнялось методом атомно-абсорбционного спектрального анализа.

Для описания абсолютного содержания исследуемых элементов в почве применялись M – средняя арифметическая, m – ошибка средней арифметической и lim – пределы колебаний. Накопление некоторых металлов в урбаногенной среде оценивалось по коэффициенту концентрации химического вещества (K_c). При этом помимо предельно допустимой концентрации (содержания) (ПДК, ПДС) принималось во внимание и местное

фоновое содержание элемента в почве, определённое на модельных площадках интактной зоны [2].

Для количественной оценки степени загрязнения почв при загрязнении почвы двумя и более элементами производился расчет суммарного показателя загрязнения (Z_c) [3]. При этом уровень загрязнения считался низким, если Z_c находится в пределах 0–16; средним (умеренно опасным), если $Z_c = 16-32$; высоким (опасным), если $Z_c = 32-128$; очень высоким (чрезвычайно опасным), если $Z_c > 128$. Кроме того, степень загрязнения почв оценивалась по интегральному оценочному баллу (Б), который учитывает степень токсичности отдельных элементов, в то время как при расчете суммарного коэффициента техногенного загрязнения она нивелируется. Почва считалась незагрязненной при значениях Б от 100 до 75 баллов, слабо загрязнённой – от 75 до 50 баллов, средне загрязнённой – от 50 до 25 баллов, сильно загрязнённой – от 25 до 10 баллов, чрезвычайно сильно загрязнённой – от 10 до 0 баллов [5].

Классификация модельных площадок по совокупности признаков (Z_c , Б) проводилась методом агломеративного иерархического кластерного анализа. Кластерный анализ проводился с применением метода Варда и манхеттеновского расстояния связи. Метод Варда хорошо сочетается с манхеттеновским расстоянием связи в объединении кластеров примерно равных размеров, которые дают наименьший вклад в функцию качества. Манхеттеновское расстояние использовалось, поскольку оно, как правило, применяется для номинальных или качественных переменных [4].

Результаты и их обсуждение

Определение концентраций подвижной форм некоторых металлов (Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Mn, Fe) в почве города Ахтубинск и его окрестностях проведено впервые.

Данные о концентрациях исследуемых элементов в почве урболандшафта представлены в таблице 1. По среднему абсолютному содержанию исследуемых металлов в почве на модельных площадках урболандшафта образуется следующий ряд по убыванию $Fe > Cu > Zn > Co > Mn > Ni > Cr > Pb > Cd$.

Таблица 1

Абсолютное содержание подвижной формы некоторых металлов
в почве урболандшафта города Ахтубинска и его окрестностей

| Элемент | Класс опасности | $M \pm m$, мг/кг | lim, мг/кг | Кратность случаев превышения нормативов, % | | Нормативы, мг/кг | |
|---------|-----------------|-------------------|---------------|--|-----------|-------------------|-----------|
| | | | | Фон местный | ПДК (ПДС) | Фон местный | ПДК (ПДС) |
| Cd | I | $0,053 \pm 0,007$ | 0,000 – 0,184 | 68 | - | $0,034 \pm 0,012$ | 1,00 * |
| Pb | I | $0,78 \pm 0,09$ | 0,00 – 1,89 | 61 | - | $0,61 \pm 0,15$ | 6,00 |

| | | | | | | | |
|----|-----|-----------|-------------|----|---|-------------|--------|
| Zn | I | 1,37±0,11 | 0,26 – 3,12 | 29 | - | 1,58 ± 0,31 | 23,00 |
| Ni | II | 0,92±0,12 | 0,08 – 2,60 | 47 | - | 0,95 ± 0,21 | 4,00 |
| Cu | II | 1,78±0,16 | 0,00 – 4,32 | 92 | 8 | 0,41 ± 0,06 | 3,00 |
| Co | II | 1,15±0,09 | 0,03 – 2,16 | 97 | - | 0,15 ± 0,08 | 5,00 |
| Cr | II | 0,87±0,13 | 0,02 – 2,60 | 29 | - | 1,35 ± 0,42 | 6,00 |
| Mn | III | 1,01±0,07 | 0,34 – 1,84 | 18 | - | 1,38 ± 0,18 | 100,00 |
| Fe | - | 2,42±0,25 | 0,11 – 6,87 | - | - | 7,68 ± 2,04 | - |

* – ПДС [6].

Выявлено превышение ПДК содержания некоторых металлов в поверхностном слое почвы города по одному элементу II класса опасности (Cu). Повышенное содержание Cu в размере 1,1 – 1,4 ПДК свойственно 8 % территории урболандшафта. Максимальные концентрации Cu зафиксированы в размере 4,32 мг/кг на МП № 22 (ТЗ пос. Владимировка).

В исследуемой урбаногенной среде отмечено превышение местных фоновых концентраций по всем исследуемым элементам кроме Fe. По кратности случаев превышения содержания местных фоновых показателей на модельных площадках образуется следующий ряд по убыванию из 8 элементов Co (97 %) > Cu (92 %) > Cd (68 %) > Pb (61 %) > Ni (47 %) > Zn = Cr (29 %) > Mn (18 %). Максимальное превышение фоновых значений отмечено по Co в 14,7 раз на МП № 26, по Cu в 1,4 раза на МП № 22, по Cd в 5,4 раза на МП № 14, по Pb в 3 раза на МП № 31, по Ni в 2,3 раза на МП № 6, по Zn в 2 раза на МП № 20, по Cr в 1,5 раза на МП № 4, по Mn в 1,3 раза на МП № 19.

Незагрязнённые относительно местного фона, а также загрязнённые по одному элементу модельные площадки отсутствуют. При этом для всей исследуемой территории характерно загрязнение по двум и более элементам с $K_{с\text{фон местный}}$ 1,0 – 14,7. Отмечаем, что 13 % урболандшафта свойственно повышенное содержание металлов по 3 элементам, 42 % территории – по 4 элементам, 34 % – по 5 элементам и 11 % по 6 элементам одновременно.

Суммарный показатель загрязнения Z_c относительно ПДК (ПДС) не рассчитывался, поскольку загрязнение урболандшафта по двум и более элементам отсутствует. Минимальные значения $Z_{с\text{ фон местный}} = 3,76$ зафиксированы на МП № 34 (ПЗ посёлка Ахтуба), максимальные значения $Z_{с\text{ фон местный}} = 22,38$ зафиксированы на МП № 26 (ПЗ центральная часть). Суммарный показатель загрязнения относительно местных фоновых концентраций ($Z_{с\text{ фон местный}}$), определяемый для 100 % территории урболандшафта, варьирует в пределах от 3,76 до 22,38 единиц, т. е. находится в диапазоне 0 – 32. Это позволяет отнести 66 % почв города Ахтубинска и его окрестностей по показателю уровня опасности к низкой категории загрязнения по содержанию валовой формы некоторых металлов, при этом 34 % территории – к категории со средним (умеренно опасным) загрязнением.

Значения интегрального оценочного балла (Б), варьирующие в пределах от 26,02 (на МП № 8 в РЗ пос. Владимировка) до 83,49 баллов (на МП № 34 в ПЗ пос. Ахтуба), не высокие и имеют большую амплитуду колебания со средним значением $40,95 \pm 6,07$, что свидетельствует о достаточно высоком уровне загрязнения почв урболандшафта. Наиболее приближенные к интактной зоне с $B = 100,00$ баллов модельные площадки отсутствуют.

При классификации МП по уровню загрязнения почв на рис. 1 обозначено два равных далеко расположенных крупных кластера по количеству МП.

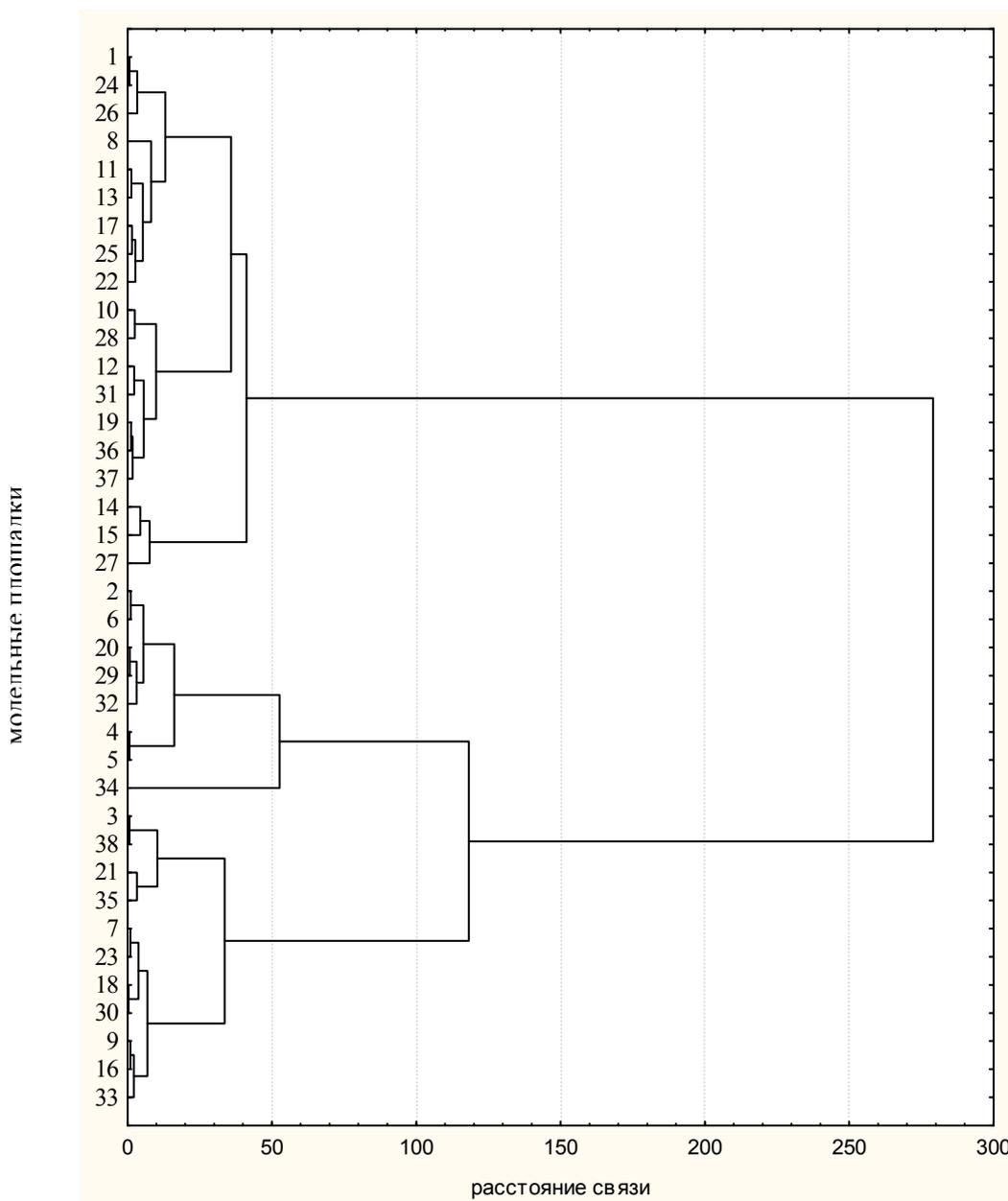


Рис. 1. Кластеризация модельных площадок по совокупности признаков Z_c фон местный, B

Первый кластер состоит из трёх близко расположенных групп. Первая группа 1 кластера объединяет МП № 1, 24, 26, 8, 11, 13, 17, 25, 22 с максимальными суммируемыми показателями загрязнения Z_c фон местный 22,38– 14,57 и $B = 26,02 - 31,07$ баллов. На

данных МП отмечено достаточно высокое содержание Cd (0,013 – 0,050 мг/кг), максимальная концентрация Co (2,16 мг/кг), превышающая местное фоновое содержание в 15 раз, и Cu (4,32 мг/кг), превышающая местное фоновое содержание в 11 раз и ПДК в 1,4 раза. Вторая группа 1 кластера – МП № 10, 28, 12, 31, 19, 36, 37, также с высокими суммируемыми показателями загрязнения Zс фон местный (18,40 – 14,57) и Б (31,73 – 37,45 баллов), содержанием Cd (0,024 – 0,066 мг/кг), максимальной концентрацией Pb (1,89 мг/кг) и Mn (1,84 мг/кг), превышающей местную фоновую в 3 и 1,3 раза соответственно. Для третьей группы 1 кластера – МП № 14, 15, 27 характерен низкий уровень загрязнения по Zс фон местный (6,00 – 9,05) и высокий по Б (27,60 – 33,59 баллов), что объясняется наивысшими концентрациями Cd (0,184 – 0,154 мг/кг), превышающими фоновое содержание в 5 раз.

Второй кластер объединяет две далеко расположенные группы. Для первой группы 2 кластера, объединяющей близкие МП № 2, 6, 20, 29, 32, 4, 5, характерны низкие суммируемые показатели загрязнения Zс фон местный (7,22 – 9,85) и Б (60,08 – 53,06 баллов), при этом содержание Cd минимальное (не более 0,037 мг/кг). Однако отмечается максимальная концентрация Ni (2,60 мг/кг), превышающая местное фоновое содержание в 2,6 раза, Zn (3,12 мг/кг), превышающая местное фоновое в 2 раза, и Cr (2,60 мг/кг), превышающая местное фоновое в 2 раза, что объясняет средние баллы интегрального оценочного показателя. К описанной выше первой подгруппе 2 кластера на большом расстоянии примыкает наиболее благополучная МП № 34 с Zс фон местный 3,76 и Б = 83,49 баллов, имеющая превышения в 2,5 – 1,2 раза местного фона по 4 элементам (Pb, Co, Cu, Mn).

Вторая группа 2 кластера, объединяющая близкие МП № 3, 38, 21, 35, характеризуется умеренным загрязнением относительно местного фона по показателям Zс фон местный (8,59 – 11,60) и Б (50,47 – 45,34 баллов). Высоких концентраций элементов не отмечено, содержание Cd не превышало 0,050 мг/кг. Третья группа 2 кластера, объединяющая близкие МП № 7, 23, 18, 30, 9, 16, 33, характеризуется средним загрязнением относительно местного фона по показателям Zс фон местный (12,07 – 13,37) и Б (42,36 – 38,06 баллов), при этом отмечается широкий диапазон содержания Cd: 0,027 – 0,086 мг/кг.

Таким образом, первый кластер объединяет наименее благополучные модельные площадки с очень высоким уровнем загрязнения, а второй – более благополучные модельные площадки с высоким и средним уровнем загрязнения по содержанию подвижной формы металлов в почве. Центральная часть города характеризуется наибольшими показателями суммируемого загрязнения. Предположения о том, что почвы рекреационной и жилой зон

загрязнены не менее чем транспортной и промышленной, подтверждаются и соответствуют результатам данных исследований по содержанию валовой формы металлов.

Выводы

Абсолютное среднее содержание подвижной формы некоторых металлов в почве на модельных площадках урболандшафта образует следующий ряд по убыванию $Fe > Cu > Zn > Co > Mn > Ni > Cr > Pb > Cd$. По результатам данного исследования выявлено превышение ПДК содержания изучаемых металлов в поверхностном слое почвы по одному элементу II класса опасности (Cu) (от 1,1 до 1,4 ПДК), которое свойственно 8 % территории урболандшафта.

Превышение местных фоновых концентраций зафиксировано по 8 исследуемым элементам в ряду по убыванию $Co (97 \%) > Cu (92 \%) > Cd (68 \%) > Pb (61 \%) > Ni (47 \%) > Zn = Cr (29 \%) > Mn (18 \%)$. Максимальное превышение фоновых значений отмечено по Co в 14,7 раз на МП № 26, по Cu в 1,4 раза на МП № 22, по Cd в 5,4 раза на МП № 14, по Pb в 3 раза на МП № 31, по Ni в 2,3 разана МП № 6, по Zn в 2 раза на МП № 20, по Cr в 1,5 раза на МП № 4, по Mn в 1,3 раза на МП № 19. Незагрязнённые относительно местного фона, а также загрязнённые по одному элементу модельные площадки отсутствуют. Полученные данные позволяют определить, что 100 % почв населённого пункта носит полиэлементный характер загрязнения некоторыми металлами относительно их местных фоновых концентраций. Максимальные концентрации исследуемых элементов зафиксированы в почвах ТЗ (Mn и Zn – МП № 19 (пл. им. генерала Козлова) и 20 (ж/д переезд) соответственно) и ПЗ (Pb – МП № 31 (судоостроительно-судоремонтный завод)), Co - МП № 26 (городская котельная) и ЖЗ (Cd – МП № 14 (жилая улица у пл. им. Ленина)) центральной части города, РЗ посёлка Петропавловка (Ni – МП № 6 (пляж), Cr – МП № 4 (городские леса)) и ТЗ посёлка Владимировка (Cu – МП № 22 (ул. Волгоградская)).

Результаты кластерного анализа полиэлементного содержания некоторых металлов в почве модельных площадок по совокупности признаков $Zc_{\text{фон местный}}$ и Б свидетельствуют о неравномерном распределении подвижной формы исследуемых элементов в зонах по виду антропогенного воздействия на территории города. При кластеризации выявлена оценочная шкала загрязнения некоторыми металлами подвижной формы относительно местных фоновых концентраций в почве по интегральному оценочному баллу (Б): слабое – 83,49 – 53,06 баллов (21 % территории), среднее 50,47 – 26,02 баллов (89 % территории).

Данное исследование по суммарным показателям загрязнения $Zc_{\text{фон местный}}$ 3,76 – 22,38 и Б = 83,49 – 26,02 баллов относит 66 % урболандшафта города Ахтубинска и его окрестностей к низкой категории опасности загрязнения по содержанию подвижной формы

некоторых металлов, при этом 34 % территории – к категории со средним (умеренно опасным) загрязнением.

Список литературы

1. Бородина Н.А., Голов В.И. Содержание различных форм Cu, Zn и Mn в почвах города Благовещенск (Амурская область) // Вестник ДВО РАН. – 2013. – № 5. Экология. – С. 69-76.
2. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Экотоксикология и проблемы нормирования / Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
3. Манджиева С.С., Минкина Т.М. Экологическое состояние почв и растений природно-техногенной сферы: монография / С.С. Манджиева, Т.М. Минкина; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – 264 с.
4. Применение математических методов при анализе геологической информации (с использованием компьютерных технологий) / сост.: И.М. Михалевич, С.П. Примица: учеб. пособие. Ч. III. – Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2006. – 115 с.
5. Титова В.И. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов / В.И. Титова, Е.В. Дабахова, М.В. Дабахов; Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород: Изд.-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
6. Чулджиян Х. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Х. Чулджиян, С. Корвета, З. Фацек // Экологическая конференция. – Братислава, 1988. – Вып. 1. – С. 5-24.