

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УРБОЛАНДШАФТОВ ГОРОДА АХТУБИНСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ ВАЛОВОЙ ФОРМЫ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Гончар Л.В.<sup>1</sup>, Волкова И.В.<sup>1</sup>, Сафаралиева А.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, e-mail: tulipary@mail.ru

Почвы, являясь одним из ключевых компонентов урболандшафтов, наиболее подвержены накоплению тяжелых металлов. В статье приведены данные о пространственном распределении валовой формы тяжелых металлов в урболандшафте города Ахтубинска Астраханской области. Определению подлежало содержание в почве валовых форм следующих элементов: Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Mn, Fe. При количественной оценке содержания тяжелых металлов использовались общепринятые показатели загрязнения почв: коэффициент концентрации химического вещества, суммарный показатель загрязнения и интегральный оценочный балл. Кроме того, классификация модельных площадок исследуемой территории по совокупности признаков проводилась методом агломеративного иерархического кластерного анализа, который в исследованиях почв Астраханской области пока активно не использовался. Выявлен полиэлементный характер пространственного загрязнения тяжелыми металлами почв населенного пункта относительно местных фоновых концентраций. При этом суммарные показатели загрязнения относят урболандшафт города Ахтубинска и его окрестностей к низкой категории опасности загрязнения по содержанию валовой формы тяжелых металлов.

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

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF URBAN LANDSCAPES IN AKHTUBINSK AND ITS LOCAL AREAS ON THE CONTENT OF GROSS FORMS OF HEAVY METALS

Gonchar L.V.<sup>1</sup>, Volkova I.V.<sup>1</sup>, Safaraliev A.R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FSBEI HPE «Astrakhan State Technical University», Astrakhan, e-mail: tulipary@mail.ru

Soils as one of the key components of urban landscapes are most susceptible to the accumulation of heavy metals. The article presents the data on the spatial distribution of a gross form of heavy metals in urban landscape in Akhtubinsk in the Astrakhan region. The content of gross forms of the following elements: Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Mn, Fe in the soil is identified. When quantifying the content of heavy metals, the generally accepted indicators of soil pollution such as chemical concentration ratio, total indicator of pollution and integrated assessment score are used. Further, classification of the model sites of the studied area by a set of parameters is made with the method of the agglomerative hierarchical cluster analysis, which has not been used before in the studies of the Astrakhan region soils. Polyelement character of spatial contamination of soils with heavy metals is revealed with relation to local soil background concentrations. At the same time, total pollution indicators bring urban landscape of Akhtubinsk and its local areas to the lowest category of risk of contamination on the content of heavy metal gross form.

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

Почвы, являясь одним из ключевых компонентов урболандшафтов, наиболее подвержены накоплению тяжелых металлов. Токсичные металлы действуют на почву как прямо, так и опосредованно, путем вмешательства в биологические циклы. Заметное ухудшение свойств почв происходит лишь при высоком уровне содержания тяжелых металлов, однако и меньшие концентрации поллютантов оказывают неблагоприятное воздействие – при переходе в сопредельные среды (растения, воду, воздух) они загрязняют их до нежелательного уровня [1].

Загрязнение природных сред тяжелыми металлами в настоящее время является одним из наиболее распространенных следствий техногенного воздействия человека на естественные и искусственные экосистемы [5]. Проблема изучения экологического состояния городской среды жизни чрезвычайно актуальна, поскольку неотъемлемыми признаками современного мира являются концентрация населения в городах, увеличение площади урбанизированных территорий и усиление негативного воздействия на компоненты урбоэкосистем [2; 6; 7].

Оценка опасности загрязнения почвы населенных пунктов определяется: 1) эпидемиологической значимостью загрязненной химическими веществами почвы; 2) ролью загрязненной почвы как источника вторичного загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха и при ее непосредственном контакте с человеком; 3) значимостью степени загрязнения почвы в качестве индикатора загрязнения атмосферного воздуха [4].

Использование в экологических исследованиях при оценке степени загрязнения почв и растений только значений предельно (или ориентировочно) допустимой концентрации элемента (ПДК, ОДК) не позволяет реально оценить степень загрязнения территории. Необходимо принимать во внимание его фоновое содержание в почвах, т.е. содержание, характерное для данного типа почв в условиях отсутствия антропогенного привнесения вещества [5]. Более приемлемым является использование фоновых значений, установленных в условиях конкретного региона (региональный фон). В то же время почвы и природные условия конкретного района могут существенно отличаться от среднестатистических региональных почв, особенно в условиях средней полосы России, где имеет место большая пестрота почвенного покрова. В связи с этим в ряде случаев более предпочтительным является использование в качестве фоновых отдельных участков, расположенных на территории данного района (местный фон). При этом выбираются участки, подвергавшиеся минимальному воздействию [1].

### **Материалы и методы**

Содержание тяжелых 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».

Обследование территории проводилось выборочно на 42 модельных площадках (МП) площадью 100 м<sup>2</sup> в соответствии с зонированием территории по виду антропогенного воздействия [5]. Из них 38 модельных площадок находилось на урбанизированной территории, 4 модельные площадки – в интактной зоне в качестве местной фоновой территории. Определению из почвенного слоя 0 – 10 см на модельных площадках подлежало содержание валовых форм следующих элементов: Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Mn, Fe. Определение содержания тяжелых металлов выполнялось методом атомно-абсорбционного спектрального анализа.

При количественной оценке антропогенного воздействия, помимо предельно (ориентировочно) допустимой концентрации (ПДК, ОДК), принималось во внимание и местное фоновое содержание элемента в почве, определённое на модельных площадках интактной зоны [1].

Накопление тяжёлых металлов в урбаногенной среде оценивалось по коэффициенту концентрации химического вещества (Кс) [1]. Для количественной оценки степени загрязнения почв при загрязнении почвы двумя и более элементами производился расчет суммарного показателя загрязнения (Zс) [3]. При этом уровень загрязнения считался низким, если Zс находится в пределах 0-16; средним (умеренно опасным), если Zс = 16-32; высоким (опасным), если Zс = 32-128; очень высоким (чрезвычайно опасным), если Zс >128 [5].

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 [1]. Интегральный оценочный балл загрязнения почвы учитывает информацию о содержании в почве токсичных элементов, их фоновом значении и санитарно-гигиенических нормативах [1].

Классификация модельных площадок по совокупности признаков (Zс, Б) проводилась методом агломеративного иерархического кластерного анализа. Кластерный анализ проводился с применением одиночной связи и манхэттенского расстояния связи.

### **Результаты и их обсуждение**

Впервые для города Ахтубинска и его окрестностей было определено и оценено содержание тяжелых металлов в почве по 9 элементам в различных зонах по виду антропогенного воздействия.

Характеристики превышений установленных нормативов содержания тяжелых металлов в почве урболандшафта города Ахтубинска и его окрестностей представлены в таблице 1. Превышений ПДК (ОДК) содержания изучаемых металлов в поверхностном слое почвы города не выявлено. Отмечен единичный случай содержания в почве Zn (элемента I

класса опасности), приближающегося к 1,0 ПДК, в размере 98,0 мг/кг. В исследуемой урбаногенной среде зафиксировано превышение местных фоновых концентраций по всем исследуемым элементам. По кратности случаев превышения содержания местных фоновых показателей на модельных площадках образуется следующий ряд по убыванию Zn (76%) > Cu (58%) > Cd (55%) > Co (42%) > Fe (37%) > Pb (34%) > Mn, Cr (29%) > Ni (26%). Загрязнение относительно местного фона отсутствует на 5,3% территории, загрязнение по одному элементу с  $K_{с\text{фон местный}}$  1,10–1,51 свойственно 18,4% территории урболандшафта, загрязнение по двум и более элементам с  $K_{с\text{фон местный}}$  1,0–3,4 отмечено на 76,3% территории.

Таблица 1

Характеристики превышений установленных нормативов содержания тяжелых металлов в почве урболандшафта города Ахтубинска и его окрестностей

Элементы	Класс опасности	Максимальное содержание в урболандшафте, мг/кг	Кратность случаев превышения нормативов, %		Нормативы, мг/кг	
			Фон местный	ПДК (ОДК)	Фон местный	ПДК (ОДК)
Cd	I	0,95	55	-	0,60 ± 0,04	0,50 - 2,00
Pb	I	11,00	34	-	3,85 ± 0,43	32,00
Zn	I	98,00	76	-	29,25 ± 4,45	100,00
Ni	II	42,60	26	-	32,00 ± 5,00	85,00
Cu	II	32,20	58	-	9,8 ± 0,81	55,00
Co	II	7,80	42	-	5,05 ± 1,01	-
Cr	II	26,00	29	-	18,95 ± 4,01	-
Mn	III	328,00	29	-	204,00 ± 20,98	1500,00
Fe	-	4836,00	37	-	2078,00 ± 581,69	-

Оценочные показатели степени загрязнения почв города Ахтубинска и его окрестностей  $Z_{с\text{ фон местный}}$ , Б представлены в таблице 2. Суммарный показатель загрязнения  $Z_{с}$  относительно ПДК (ОДК) не рассчитывался, поскольку загрязнение урболандшафта по двум и более элементам отсутствует. Минимальные значения  $Z_{с\text{ фон местный}} = 1,22$  зафиксированы на МП № 33 (ПЗ посёлка Владимировка), максимальные значения  $Z_{с\text{ фон местный}} = 6,60$  зафиксированы на МП № 10 (РЗ посёлка Ахтуба). Суммарный показатель загрязнения относительно местных фоновых концентраций ( $Z_{с\text{ фон местный}}$ ), определяемый для 76,3% территории урболандшафта, варьирует в пределах от 1,22 до 6,60 единиц, т.е. находится в диапазоне 0-16. Это позволяет отнести урбанизированные почвы города Ахтубинска и его окрестностей по показателю уровня опасности к низкой категории загрязнения по содержанию валовой формы тяжёлых металлов.

Таблица 2

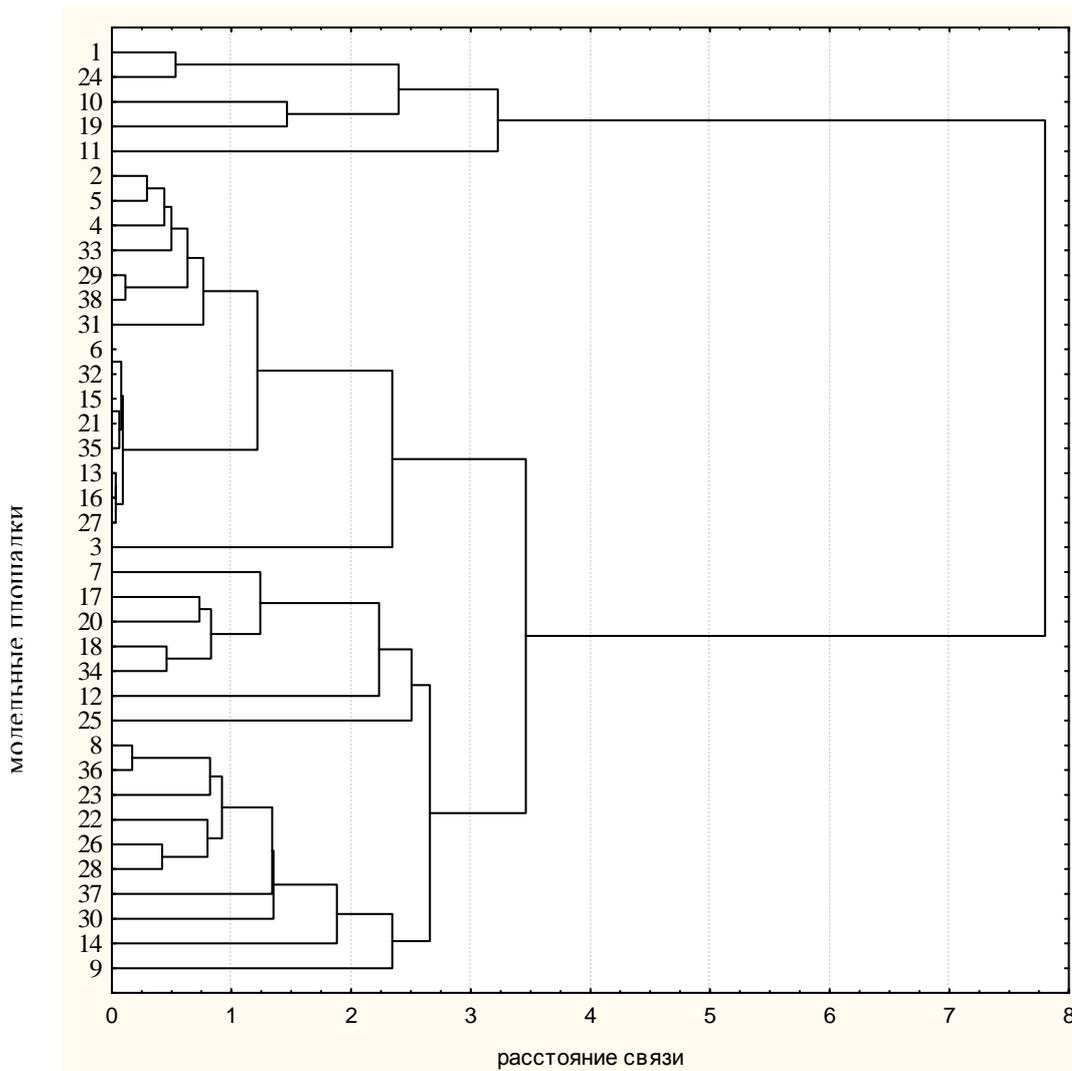
Показатели степени загрязнения почв города Ахтубинска и его окрестностей  
(Zc фон местный, Б)

Зона	МП	Zc фон местный	Б	Зона	МП	Zc фон местный	Б	
рекреационная	1	4,4	76,23	транспортная	20	3,8	87,33	
	2	1,9	99,95		21	-	100,00	
	3	-	97,30		22	2,0	94,26	
	4	2,4	100,00		23	2,7	93,23	
	5	1,6	100,00		24	4,8	76,59	
	6	-	99,85		25	5,2	84,38	
	7	2,1	86,26		промышленная	26	1,3	93,43
	8	2,1	92,68			27	-	99,76
	9	2,1	90,29			28	1,7	93,52
	10	6,6	74,40			29	1,5	99,13
жилая	11	4,4	70,83	30		5,1	94,49	
	12	1,6	84,08	31		2,3	98,94	
	13	-	99,73	32		-	99,85	
	14	3,7	95,76	33		1,2	99,72	
	15	-	100,00	34		3,6	86,53	
	16	-	99,70	35		-	99,94	
	17	3,5	88,03	36	1,9	92,63		
	18	3,4	86,12	37	3,9	93,82		
*	19	5,2	73,97	38	1,6	99,14		

\* - площадка № 19 находится в транспортной зоне

Значения интегрального оценочного балла (Б), варьирующие в пределах от 70,83 (на МП № 11 в ЖЗ центральной части) до 100,00 баллов, достаточно высоки, что также свидетельствует о низком уровне загрязнения почв урболандшафта. Наиболее приближены к интактной зоне с Б = 100,00 баллов четыре модельные площадки: № 15, 21 (ЖЗ, ТЗ соответственно) и № 4, 5 (РЗ) посёлка Петропавловка.

При классификации МП по уровню загрязнения почв на рисунке обозначено два далеко расположенных крупных кластера. Первый малочисленный кластер состоит из одной группы МП (№ 1, 24, 10, 19, 11) с максимальными суммируемыми показателями загрязнения Zc фон местный 6,60–4,40 и Б = 70,83–76,59 балла. На данных МП отмечено превышение местных фоновых концентраций по 7–9 элементам, а также наиболее высокие концентрации Cd (элемента I класса опасности) 0,95–0,73 мг/кг.



*Кластеризация модельных площадок по совокупности признаков  $Z_{с \text{ фон местный}}$ , Б*

Второй многочисленный кластер, включающий все остальные МП, объединяет две далеко расположенные группы. 1-я группа второго кластера состоит из двух близко расположенных подгрупп, наиболее благополучных по содержанию тяжёлых металлов в почве МП с  $B = 100,00 - 98,94$  баллов. 1-я подгруппа объединяет МП № 27, 16, 13, 35, 21, 15, 32, 6, для которых не рассчитывалось  $Z_{с \text{ фон местный}}$ , кроме того, на МП № 15 и 21 отсутствуют превышения местных фоновых концентраций. 2-я подгруппа объединяет МП № 31, 38, 29, 33, 4, 5, 2) с суммируемыми показателями загрязнения  $Z_{с \text{ фон местный}} 2,36-1,22$ . Для данных МП характерно превышение местных фоновых концентраций по 2–3 элементам, при этом концентрация Cd либо не превышена, либо равна местной фоновой. К описанным выше подгруппам второго кластера на большом расстоянии примыкает МП № 3 с  $B = 97,3$  балла, для которой концентрация Cd в почве равна местной фоновой,  $Z_{с \text{ фон местный}}$  не рассчитывался.

2-я группа второго кластера состоит из двух далеко расположенных менее благополучных подгрупп. Для МП данной группы характерно превышение местных фоновых концентраций по 3–9 элементам с широким диапазоном  $Z_{с \text{ фон местный}} 5,16-1,28$  и

достаточно высокое содержание Cd на большинстве МП 0,78–0,47 мг/кг. Первая подгруппа объединяет далеко расположенные МП № 7, 17, 20, 18, 34, 12, 25 с Б = 88,03–84,08 балла. Вторая подгруппа объединяет МП № 8, 36, 23, 22, 26, 28, 37, 30, 14, 9 с Б = 95,76–90,29 балла, при этом на МП № 30 отмечено максимальное содержание Zn.

Т.о., первый кластер объединяет наименее благополучные модельные площадки, а второй – МП с высокой и умеренной степенью благополучия по содержанию валовой формы металлов в почве. Центральная часть города и посёлок Ахтуба характеризуются наибольшими показателями суммируемого загрязнения, а посёлок Петропавловка наиболее приближен к интактной зоне. Вопреки предположениям, почвы рекреационной и жилой зон загрязнены не менее, чем транспортная и промышленная.

### **Выводы**

По результатам данного исследования, превышений ПДК (ОДК) содержания изучаемых металлов в поверхностном слое почвы города не выявлено. Превышение местных фоновых концентраций зафиксировано по всем исследуемым элементам в ряду по убыванию  $Zn > Cu > Cd > Co > Fe > Pb > Mn, Cr > Ni$ . Полученные данные позволяют определить, что загрязнение тяжёлыми металлами почв населённого пункта носит полиэлементный характер относительно местных фоновых концентраций. Доля территории, на которой не зафиксированы превышения в накоплении тяжёлых металлов, составляет 5% от общей площади. Данные благополучные модельные площадки расположены в рекреационной, жилой и транспортной зонах посёлка Петропавловка. Прочие 95% исследуемой территории населённого пункта характеризуются повышенным содержанием поллютантов, наибольшему накоплению которых подвержены модельные площадки центральной части города и посёлка Ахтуба.

Результаты кластерного анализа содержания тяжёлых металлов в почве модельных площадок по совокупности признаков  $Zc_{\text{фон местный}}$  и Б свидетельствуют о неравномерном распределении исследуемых элементов в зонах по виду антропогенного воздействия на территории города. При кластеризации выявлена оценочная шкала загрязнения тяжёлыми металлами относительно местных фоновых концентраций в почве по интегральному оценочному баллу (Б): низкое – 100,00–97,30 балла; умеренное – 95,76–84,08 балла, высокое – 76,59–70,83 балла.

Данное исследование по суммарным показателям загрязнения  $Zc_{\text{фон местный}}$  1,22–6,60 и Б = 70,83–100,00 баллов относит урболандшафт города Ахтубинска и его окрестностей к низкой категории опасности загрязнения по содержанию валовой формы тяжёлых металлов.

## Список литературы

1. 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.
2. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда. - М. : ИНФРА, 1998. – 407 с.
3. Манджиева С.С., Минкина Т.М. Экологическое состояние почв и растений природно-техногенной сферы : монография / Южный федеральный университет. – Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2014. – 264 с.
4. Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство / под ред. к.х.н. А.Г. Муравьева. - Изд. 2-е, перераб. и дополн. - СПб. : Крисмас+, 2008. - 216 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. Экология города Йошкар-Олы : научное издание / под ред. О.Л. Воскресенской; Мар. гос. ун-т. - Йошкар-Ола, 2007. - 300 с.
7. Экология города / под ред. Н.С. Касимова. - М. : Науч. мир, 2004. – 624 с.