



УДК 504.53:550.424

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.31>

Распределение микроэлементов в почвах г. Улан-Батора

Ц. Бямбасурэн

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск
Институт физики и технологии МАН, г. Улан-Батор*

Е. В. Шабанова

Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск

А. Т. Корольков

Иркутский государственный университет, г. Иркутск

И. Е. Васильева

Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск

Г. Очирбат, Б. Хуухэнхуу

Институт физики и технологии МАН, г. Улан-Батор

Аннотация. Поверхностные почвы г. Улан-Батора испытывают высокую антропогенную нагрузку. Источники поступления потенциально токсичных элементов (Ag, As, B, Ba, Bi, Co, Cd, Cr, Cu, F, Ge, Mo, Mn, Li, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, V и Zn) в почвенный покров города выявлены с помощью факторного анализа по данным микроэлементного состава 325 образцов почв. Образцы характеризовали районы города, имеющие разную степень антропогенной нагрузки. Разведочный статистический анализ данных показал наличие на территории города одного или более источников загрязнения. Факторным анализом выделено пять главных компонент, объясняющих 69,1 % общей дисперсии данных. Для интерполяции результатов факторного анализа и картографирования свойств почв использован метод обычного кригинга. Распределения выделенных факторов указывают на высокую вероятность экологических проблем в районах города, где расположены теплоэлектростанции и плотная юрточная застройка, а также свидетельствуют о том, что основной причиной обогащения городских почв г. Улан-Батора микроэлементами являются пыле-аэрозоли от сжигания угля. Специфичная роза ветров угрожает центральной части города заражением продуктами горения угля со стороны северных районов юрточной застройки и ТЭС-3, расположенной на западе города. Показано, что полное описание источников типа загрязнения поверхностных почв г. Улан-Батора требует расширения статистической модели данными макроэлементного состава изучаемых почв. Исследование проведено в рамках совместных научных работ Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Института физики и технологии МАН и Иркутского государственного университета.

Ключевые слова: почвы г. Улан-Батора, источники микроэлементов, разведочный и факторный анализ, метод обычного кригинга.

Для цитирования: Распределение микроэлементов в почвах г. Улан-Батора / Ц. Бямбасурэн, Е. В. Шабанова, А. Т. Корольков, И. Е. Васильева, Г. Очирбат, Б. Хуухэнхуу // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 26. С. 31–45. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.31>

Введение

Почва является депонирующей средой, способной накапливать высокие концентрации элементов. Различные антропогенные (промышленные и транспортные выбросы) и природные (почвообразующие процессы) источники оказывают влияние на состав почв и их способность самовосстановления [Kabata-Pendias, 2011; Wong, Li, Thornton, 2006]. Наиболее подверженными загрязнению оказываются городские почвы с нарушенными естественными процессами самоочищения. В связи с этим необходим мониторинг состояния почвенного покрова урбанизированных территорий и выявление источников их загрязнения. Для изучения взаимосвязей и взаимозависимостей макро- и микроэлементов почвенного покрова, идентификации природных и антропогенных источников загрязнения окружающей среды широко используются методы статистического анализа данных, например факторный и кластерный анализ [Wong, Li, Thornton, 2006; Johnson, 1998; Zinkutė, Taraškevičius, Želvys, 2011; Mineralogical and geochemical ... , 2001; Borůvka, Vacek, Jehlička, 2005; Gallego, Ordoñez, Loredó, 2002; Identification of trace element ... , 2008; Metal contamination in ... , 2006].

Поверхностные почвы г. Улан-Батора, так же как и других крупных мегаполисов, испытывают высокую антропогенную нагрузку из-за роста городского населения, увеличения числа промышленных предприятий, автомобилей, автозаправочных станций, а также объемов промышленных и бытовых отходов. В связи с тем что городские почвы имеют мелкоконтурность, широкое пространственное варьирование свойств, низкую буферную способность и утрату плодородия, принятие эффективных и обоснованных решений при выполнении задач мониторинга экологического состояния и менеджмента окружающей среды требует перманентной системы выявления источников загрязнения городской территории. Для получения непрерывной поверхности данных из набора полевых почвенных исследований широко применяются методы геостатистического моделирования [Сахабиев, Рязанов, 2015].

С целью изучения источников поступления потенциально токсичных элементов (Ag, As, B, Ba, Bi, Co, Cd, Cr, Cu, F, Ge, Mo, Mn, Li, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, V и Zn) в почвенный покров г. Улан-Батора были обработаны с помощью факторного анализа полученные при мониторинге данные о микроэлементном составе почв.

Объекты и методы исследования

Местом исследования был г. Улан-Батор (Монголия), который находится на севере центральной части Монголии в межгорной котловине, где расположена долина р. Туул, на высотах 1300–1500 м над ур. м. Координаты города 106°55' в. д. и 47°55' с. ш. Климат резко континентальный со значительными годовыми и суточными колебаниями температуры воздуха.

Общая площадь территории города составляет 4704,4 км² и относится к Хангайской почвенно-биоклиматической провинции, Предхэнтэйскому округу с каштановыми и темно-каштановыми почвами в элювиальных и трансэлювиальных условиях и с аллювиальными каменисто-галечниковыми почвами в аккумулятивных ландшафтах речных долин. В долине р. Туул и на южных склонах Чингэлту под полынно-разнотравно-злаковыми сообще-

ствами формируются темно-каштановые мучнисто-карбонатные почвы с нейтральной реакцией, незначительным содержанием гумуса (2–3 %), супесчаным и легкосуглинистым гранулометрическим составом и бескарбонатными верхними горизонтами почвенного профиля [Эколого-геохимическое состояние ... , 2011; Почвенный покров и почвы ... , 1984]. Подстилающие породы представлены архейскими гранитами, каменноугольными метаморфическими глинистыми сланцами и неогеновыми пестроцветными глинами, часто содержащими легкорастворимые соли и гипс, пески и конгломераты. В долинах рек преобладают галечниковые песчано-суглинистые аллювиальные отложения четвертичного возраста. Глинистые сланцы и пестроцветные глины обогащены Fe, Mn, Co, Cr, Ni, Pb и Ti. Граниты, песчаные отложения и речной аллювий имеют обедненный микроэлементный состав, в котором только Mn, Mo, V, Co и Pb представлены окологларковыми содержаниями [Батхишиг, 1999].

Улан-Батор является большим промышленно-транспортно-селитебным ареалом Монголии с населением 1 417 396 чел. [Нийслэлийн статистикийн мэдээ]. Центральная часть города застроена многоэтажными сооружениями (жилые дома, здания различных учреждений и промышленных предприятий), а на окраинах города расположены районы частной юрточной застройки.

На территории города по нерегулярной сети опробования были отобраны 325 образцов почв с разной степенью антропогенной нагрузки: вблизи тепловых электростанций, автомобильных дорог, жилых районов (высотные здания и юрточные районы), городских парковых зон (рис. 1).

Отбор проб и их подготовка к анализу выполнены в соответствии с нормативными документами¹. Содержание 23 элементов (Ag, As, B, Ba, Bi, Co, Cd, Cr, Cu, F, Ge, Mo, Mn, Li, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Tl, V и Zn) в пробах определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с дуговым разрядом [Васильева, Шабанова, 2012]. Обработка и обобщение результатов аналитических исследований выполнялись в программах Microsoft Office Excel 2013 и Statistica 13. Геоэкономическое моделирование проведено в ArcGIS 10.3.

Схема изучения аналитических данных состояла в последовательном применении процедур описательной статистики (расчет среднего, минимального и максимального, медианы, геометрического среднего, коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса при уровне надёжности 95 %), проверке гипотезы о нормальности распределения содержания каждого химического элемента в выборке (критерий Шапиро – Вилкса) и выявлении характера источника загрязнения почвы (факторный анализ). Для интерполяции и картографирования свойств почв использовали метод обычного (ординарного) кригинга, который очень чувствителен к типу распределения. Так как тип распределения содержания каждого из 23 элементов, определяемых в почвенном покрове, может быть отличен от нормального, то данные дополнительно были преобразованы методом Бокса – Кокса.

¹ MNS 3298-90. Байгаль хамгаалал. Хөрс. Шинжилгээний дээж авахад тавигдах ерөнхий шаардлагууд. Үндэсний стандартчиллын эрдэм шинжилгээний хүрээлэн Улаанбаатар хот, 1991 он, х. 1–7; ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005) Soil quality. Sampling. Part 5. Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination. Стандартинформ. М., 2009. С. 1–9.

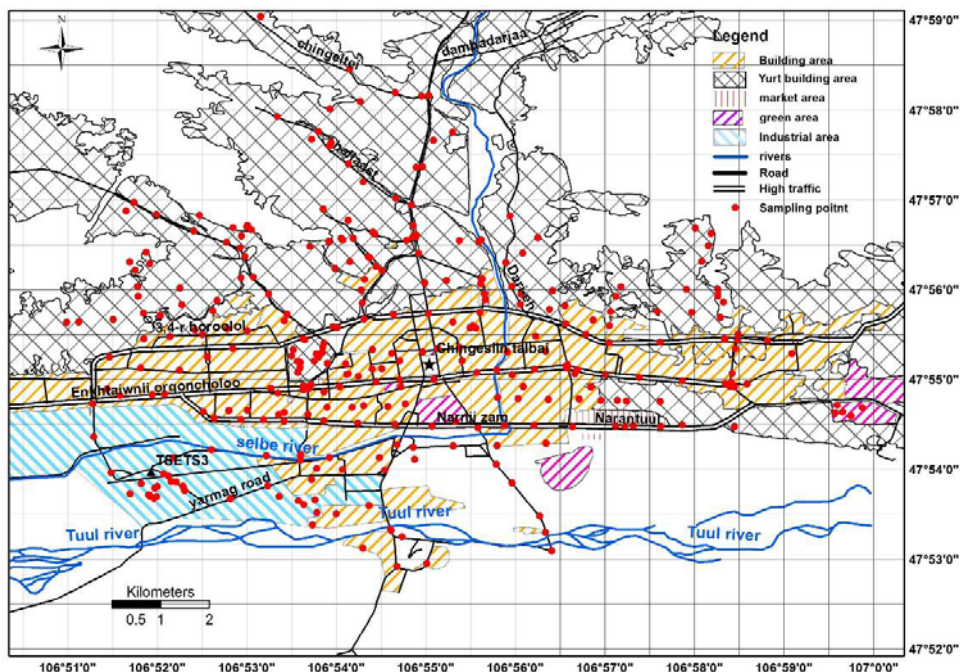


Рис. 1. Схема отбора проб почв в г. Улан-Баторе

При интерпретации результатов факторного анализа и для более достоверного выделения источников поступления элементов в почвы г. Улан-Батора были учтены особенности распределения элементов в поверхностной почве, землепользования территории и геологического строения территории города. С помощью анализа главных компонент выделены факторы, которые характеризуют сходство или различие геохимического поведения микроэлементов. Количество значимых главных компонент (ГК) было выбрано на основе критерия Кайзера, т. е. изучались только факторы с собственными значениями > 1 . Повышение интерпретируемости результатов достигнуто применением стратегии варимакс, где коэффициент вращения нормализован. В целях изучения пространственного распределения групп элементов для каждого фактора рассчитывали значение индекса, выражающего степень сходства конкретного фактора с ассоциацией элементов в образце. Значения индекса представляют безразмерные числа со средним значением нуля и стандартным отклонением от единицы.

Результаты и обсуждение

Статистические особенности распределения микроэлементов в поверхностной почве г. Улан-Батора представлены в табл. 1. Наборы исходных данных всех микроэлементов характеризуются незначительной сопоставимостью медианы, арифметического и геометрического средних значений распределения валовых содержаний; значительным разбросом данных;

асимметричными и покатыми формами распределениями. Критерий Шапиро – Вилкса подтверждает отсутствие нормального распределения содержания определенных микроэлементов на всей территории города. Такое поведение данных типично для поверхностных городских почв, которые часто имеют слой мощностью около 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного происхождения, в том числе строительного-бытового мусора. Коэффициент асимметрии значительно снизился для преобразованных методом Бокса – Кокса данных. Для ряда элементов (Sb, Cu, Cr, Mo, Mn, As, Ge, B, Bi, Co, Li, V, Ba, Sr, Rb) покатоность распределения данных осталась. И только преобразованные данные для Ag, Cd, Ni, Sn, F, Pb и Zn можно рассматривать как нормально распределённые одновременно по трём критериям (коэффициенты асимметрии и эксцесса, расчётный показатель критерия Шапиро – Вилкса при $p > 0,05$).

Изучая городские почвы, важно знать не только содержание химических элементов в поверхностном слое почвенного горизонта, но и его геохимическую структуру, поскольку для урбанизированных почв, как и для естественных, существует связь с подстилающими породами. Средние валовые содержания для Cr, Sb, Sn и V значительно ниже мировых кларковых содержаний этих элементов в литосфере, а для As, B, Bi, Cd, Cu, F, Pb, Rb и Zn – выше более чем в 1,5 раза с учетом погрешности результатов анализа (табл. 2). Из-за особенностей геологического строения и ландшафта для большинства перечисленных элементов значения регионального фона существенно отличаются от их распространенности в литосфере [Почвенный покров и почвы ... , 1984]. Сопоставление средних содержаний элементов в городских почвах со значениями регионального фона указывает на накопление B, Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, Sr и Zn. Кроме этого, показатель «отношение определенных содержаний к региональным» при величине более 1,0 свидетельствует о наличии неких локальных аномалий на геохимических барьерах, что при определенных условиях может привести к обогащению почвенного покрова города этими элементами. Сравнение валовых содержаний микроэлементов в почвах с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК) показало, что среднее содержание большинства микроэлементов в поверхностной почве г. Улан-Батора, за исключением As, B и F, не превышает ПДК. Необходимо отметить, что не все тяжелые металлы и металлоиды классифицированы по токсичности [Водяницкий, 2008], поэтому значения ПДК почв Монголии требуют уточнения.

Изучение геохимического поведения микроэлементов в поверхностных почвах с использованием факторного анализа выявило пять главных компонент (факторов), объясняющих 69,1 % общей дисперсии данных (табл. 3). Дисперсии и процент объяснённой дисперсии каждого фактора изменяются от 6,4 до 1,2 и от 27,7 до 5,0 соответственно. Общности данных представляют собой оценки дисперсии в каждой переменной, учитываемой компонентами.

Результаты разведочного анализа данных для каждого химического элемента в выборке

Элемент	Статистические оценки для выборок найденных содержаний				Показатели разброса данных		Коэффициенты, описывающие данные							
	μ	M	C_{GM}	C_{min}	C_{max}	σ	V	исходные			преобразованные			
								S	K	$S - W$	S	K	$S - W$	
Ag	0,29	0,18	0,20	0,05	10,00	0,61	208,00	13,00	202,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,35
As	11,00	9,70	10,00	2,60	64,00	6,00	55,00	5,00	35,00	0,00	0,00	-0,21	4,46	0,00
B	56,00	51,00	53,00	28,00	230,00	20,00	37,00	4,00	23,00	0,00	0,00	-0,10	1,36	0,00
Ba	671,00	705,00	656,00	364,00	1055,00	140,00	21,00	-0,10	0,90	0,00	0,00	0,05	1,15	0,00
Bi	0,72	0,68	0,70	0,40	3,60	0,25	35,00	6,00	57,00	0,00	0,00	-0,09	1,17	0,00
Cd	0,82	0,72	0,75	0,36	3,10	0,42	50,00	3,00	9,00	0,00	0,00	0,02	-0,14	0,25
Co	12,00	11,00	11,00	3,90	34,00	3,80	32,00	1,00	5,00	0,00	0,00	0,01	0,75	0,01
Cr	59,00	51,00	53,00	24,00	960,00	60,00	101,00	12,00	64,00	0,00	0,00	-0,18	2,08	0,00
Cu	48,00	39,00	41,00	17,00	1400,00	82,00	171,00	14,00	230,00	0,00	0,00	-0,11	1,12	0,00
F	479,00	450,00	459,00	240,00	2100,00	166,00	35,00	4,00	32,00	0,00	0,00	-0,05	0,58	0,06
Ge	1,90	1,70	1,80	0,85	6,80	0,69	37,00	3,00	15,00	0,00	0,00	-0,11	1,66	0,00
Li	23,00	22,00	23,00	10,00	49,00	5,10	22,00	0,90	2,40	0,00	0,00	0,01	0,92	0,01
Mn	629,00	580,00	594,00	360,00	5500,00	406,00	65,00	11,00	128,00	0,00	0,00	-0,16	1,26	0,00
Mo	2,80	2,30	2,50	0,60	17,00	2,20	76,00	4,00	19,00	0,00	0,00	-0,18	3,06	0,00
Ni	35,00	34,00	34,00	15,00	73,00	8,50	24,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,12
Pb	67,00	50,00	51,00	19,00	1370,00	110,00	164,00	10,00	110,00	0,00	0,00	-0,03	0,22	0,05
Rb	86,00	84,00	85,00	54,00	151,00	16,00	19,00	0,80	2,20	0,00	0,00	0,00	0,64	0,20
Sb	4,30	3,00	3,10	0,62	200,00	11,00	264,00	16,00	278,00	0,00	0,00	-0,16	2,55	0,00
Sn	5,70	4,70	5,00	2,70	96,00	6,10	106,00	11,00	156,00	0,00	0,00	-0,01	0,34	0,06
Sr	428,00	421,00	424,00	296,00	671,00	59,00	14,00	0,60	2,50	0,00	0,01	0,00	0,99	0,12
Tl	0,79	0,70	0,73	0,30	2,20	0,33	41,00	2,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
V	66,00	66,00	65,00	31,00	180,00	14,00	22,00	1,60	11,80	0,00	0,00	0,01	1,83	0,00
Zn	149,00	130,00	135,00	61,00	1600,00	115,00	77,00	10,00	110,00	0,00	0,00	-0,07	0,68	0,01

Примечание. M – медиана распределения данных; μ – среднее арифметическое значение; C_{GM} – геометрическое среднее; σ – дисперсия распределения; V – коэффициент вариации; S – коэффициент асимметрии; K – коэффициент эксцесса; $S - W$ – расчетный показатель критерия Шапиро – Вилкса при $p > 0,05$.

Таблица 2

Среднее валовое содержание (C_{GM}), значение регионального фона (C_{BG}), распространенность в литосфере (кларк) и ПДК микроэлементов в поверхностной почве

Элемент	Содержание (мг/кг)			
	C_{GM}	C_{BG}	кларк	ПДК
Ag	0,20	–	–	–
As	10	12	4	2,0–6,0
B	53	35	5	15–25
Ba	656	700	400	–
Bi	0,70	0,50	0,0002	–
Cd	0,75	1	0,05	1,0–3,0
Co	11	18	10	30–40
Cr	53	45	190	60–100
Cu	41	25	20	60–80
F	459	450	200	100–200
Ge	1,8	–	–	–
Li	23	32	30	–
Mn	594	710	545	–
Mo	25	1,9	30	2,0–3,0
Ni	34	33	40	60–100
Pb	51	20	10	70–50
Rb	85	93	50	–
Sb	3,1	1,2	15	–
Sn	5,0	2,8	10	30–50
Sr	424	290	300	600–800
Tl	0,73	–	–	–
V	65	83	100	100–130
Zn	135	60	50	100–50

Из 23 элементов значимые положительные нагрузки в первом факторе (ГК-1) имеют V>Co>F>As>Ni>Mn; во втором (ГК-2) – Zn>Pb>Sn>Cu>Sb>Ag>B; в третьем (ГК-3) – Cr>Bi>Mo>As; в четвертом (ГК-4) – Tl>Cd>Mo и в пятом (ГК-5) – Ge>Sr. Значимые отрицательные нагрузки наблюдаются только в двух факторах: ГК-3 – Ba и Li; ГК-4 – Rb.

ГК-1 характеризует элементы, проявляющие сидерофильные свойства, и может способствовать при дальнейшем исследовании образцов выделению ряда фаз-носителей элементов-манганофилов.

В ГК-2 сгруппировались почти все элементы, для которых наблюдается накопление B, Cu, Pb, Sb, Sn и Zn, относящихся к халькофильным элементам, согласно отношению их средних содержаний к значениям регионального фона (см. табл. 2). Исключение составляют Mo и Sr.

ГК-3 – это фактор, отражающий умеренно высокую степень опасности четырех элементов, которые при низких содержаниях бария и лития могут присутствовать в пробах в токсичных формах. Хотя по литературным данным мышьяку присвоена высокая степень опасности, а хрому – умеренная. Видимо, этот фактор для ряда проб выявляет скрытую структуру, связанную с подвижными формами элементов разной степени опасности и токсичности. Также необходимо отметить, что для разных проб два элемента (As и Mo)

одновременно находятся в ГК-3 и входят в состав двух других главных компонент: мышьяк также присутствует в ГК-1, а молибден – в ГК-4. Данный факт косвенно подтверждает присутствие нескольких фаз-носителей мышьяка и молибдена в пробах почв г. Улан-Батора.

Таблица 3

Результаты факторного анализа валовых содержаний микроэлементов

Статистика	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК-4	ГК-5	Общность данных
Собственное значение	6,4	4,1	2,7	1,6	1,2	
Совокупная объясненная дисперсия, %	27,7	45,4	57,1	64,1	69,1	
Элемент	Факторная нагрузка					
V	0,855	-0,183	0,057	-0,111	0,041	0,75
Co	0,845	0,017	-0,135	0,277	0,188	0,88
F	0,770	0,169	0,193	0,364	-0,004	0,86
As	0,664	0,074	0,522	0,200	-0,052	0,83
Ni	0,612	0,333	0,225	0,097	0,143	0,71
Mn	0,514	-0,329	-0,237	0,057	-0,073	0,52
Zn	0,175	0,864	0,060	0,068	0,076	0,83
Pb	-0,286	0,815	-0,114	0,008	0,174	0,86
Sn	-0,041	0,785	0,049	0,231	0,102	0,84
Cu	0,291	0,761	0,059	0,397	-0,011	0,88
Sb	-0,242	0,759	0,122	-0,225	-0,004	0,74
Ag	0,181	0,673	-0,185	0,209	0,092	0,65
B	0,139	0,502	-0,007	-0,380	0,423	0,64
Cr	-0,115	-0,064	0,766	0,175	-0,036	0,60
Bi	0,332	0,319	0,641	0,327	0,026	0,78
Mo	0,132	0,295	0,538	0,632	0,094	0,85
Ba	-0,139	0,136	-0,618	0,116	0,112	0,50
Tl	0,206	0,133	-0,060	0,839	0,065	0,87
Cd	0,374	0,355	0,074	0,753	-0,039	0,86
Rb	-0,013	0,121	-0,359	-0,627	-0,033	0,52
Ge	0,137	0,277	-0,140	-0,153	0,792	0,76
Sr	-0,019	0,013	-0,011	0,324	0,720	0,35
Li	0,299	-0,447	-0,430	-0,178	0,322	0,71

ГК-4 объединяет в группу токсичные элементы, которые имеют высокий коэффициент биологического поглощения (более 70 %) и высокотоксичны для организмов в любой форме окисленности в почвах с низким содержанием органического вещества, что характерно для городских почв г. Улан-Батора. Дифференциация этих свойств связана с увеличением содержания калия и железа. Изменение в большую сторону количества органики может привести к увеличению содержания рубидия при снижении содержаний таллия, кадмия и молибдена.

В ГК-5 значимые связи наблюдаются для двух элементов, которые в природных объектах наиболее часто встречаются в каменных углях. При сжигании углей эти элементы переходят в индивидуальные минеральные формы.

Географическое распределение всех пяти факторов (рис. 2) по территории г. Улан-Батора указывает на три основных района распространения

микроэлементов, входящих в выделенные главные компоненты. Интересно то, что в этих районах расположены теплоэнергетические станции № 3 и 4, работающие на угле, а также плотная юрточная застройка, в которой для отопления также используется уголь. Результаты изучения согласуются с данными [Эколого-геохимическое состояние ... , 2011; Distribution of toxic ... , 2013] и свидетельствуют о том, что основной причиной обогащения городских почв г. Улан-Батора элементами являются пыле-аэрозоли от сжигания углей. Благодаря преобладающим направлениям ветра (западному, северо-западному, юго-западному и северному) [Архив погоды в Улан-Баторе] центральная часть города оказывается под угрозой заражения продуктами горения угля из районов юрточной застройки (северная часть города) и ТЭС-3 (западная часть города).

Однозначно предсказать роль почвенного покрова в качестве геохимического барьера на территории города затруднительно в связи с тем, что городские почвы имеют мелкоконтурность при широком варьировании физико-химических свойств. Хотя бы потому, что физико-химическая классификация геохимических барьеров для тяжелых металлов и металлоидов не согласуется с реальностью из-за отсутствия учета роли разных фаз, способствующих закреплению микроэлементов в почве [Водяницкий, 2008; Kabata-Pendias, 2011]. Например, молибден и мышьяк могут закрепляться на любых из барьеров: кислотном и щелочном, окислительном и восстановительном. Проведенный статистический анализ распределения микроэлементов также указывает на несколько типов геохимических барьеров, присутствующих на территории города (см. состав ГК-1, ГК-3 и ГК-4). В связи с этим необходимо изучать в городских почвах так называемые минералогические барьеры при почвообразовании, где механизмы закрепления микроэлементов минералами обусловлены процессами сорбции, окисления-восстановления и образованием новых минералов-носителей. Главные минералогические барьеры в почвах можно разделить на четыре группы, которые характеризуются образованием алюмосиликатных, железистых, карбонатных и марганцевых минералов, поэтому без учета влияния макроэлементного состава почв однозначное выявление источников загрязнения почвы и оценка класса опасности с помощью факторного анализа затруднительны. Этот же вывод вытекает из показателя «общность данных» (см. табл. 3). Для всех элементов, за исключением стронция, значения общности высоки, т. е. извлеченные компоненты хорошо представляют переменные. Однако низкий уровень общности по стронцию подтверждает необходимость включения в статистическую модель большего числа элементов.

Заключение

Данные о микроэлементном составе 325 проб, полученные при проведении экологического мониторинга, были обработаны с использованием многомерного статистического анализа для изучения источников поступления потенциально токсичных элементов (Ag, As, B, Ba, Bi, Co, Cd, Cr, Cu, F, Ge, Mo, Mn, Li, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, V и Zn) в почвы г. Улан-Батора.

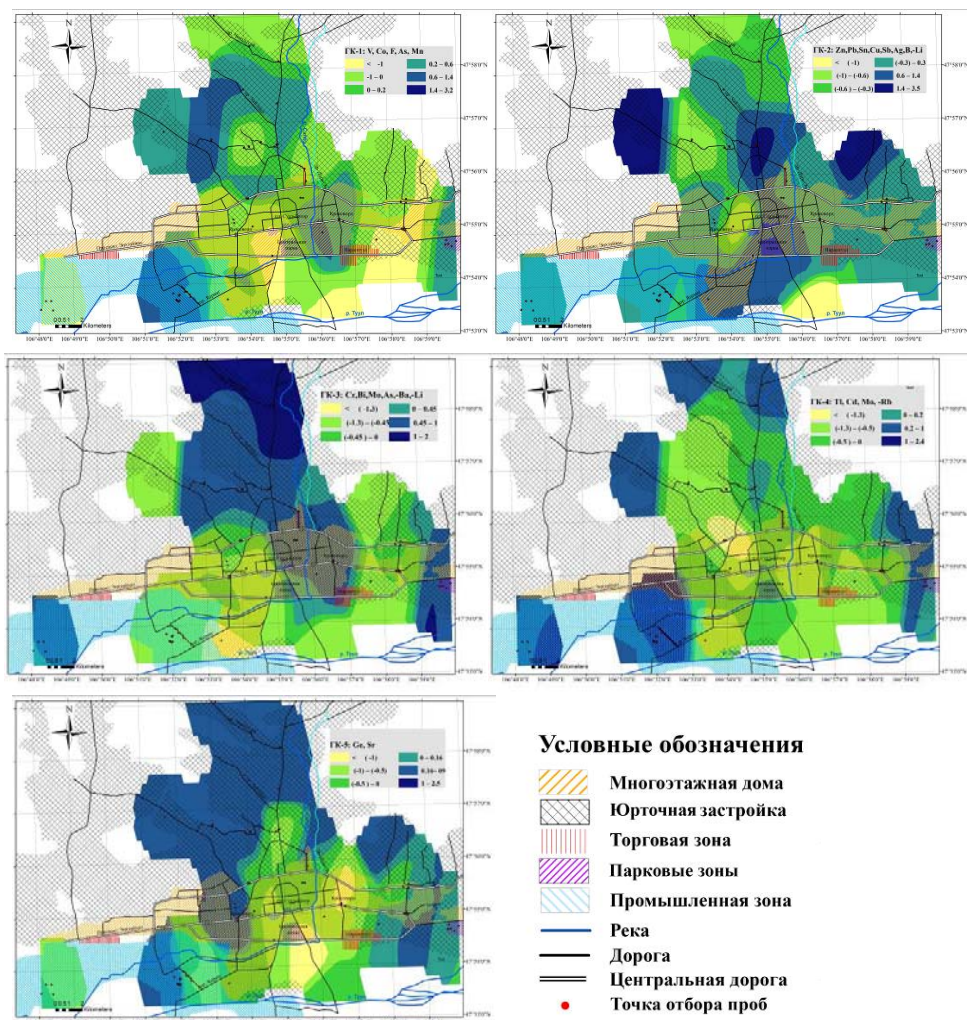


Рис. 2. Географическое распределение пяти факторов в почвах г. Улан-Батора

Разведочный статистический анализ показал, что микроэлементы в поверхностных почвах Улан-Батора, как и других крупных мегаполисов, имеют положительно искаженные распределения, т. е. на территории города имеется один или более источник загрязнения. В результате факторного анализа выделено пять главных компонент, описывающих 69,1 % вариативности изученных микроэлементов.

Карты географического распределения пяти выделенных факторов подтверждают высокие положительные оценки, характерные для районов города, где расположены теплоэлектростанции и плотная юрточная застройка, и свидетельствуют о том, что основной причиной обогащения городских почв г. Улан-Батора элементами являются пыль-аэрозоли от сжигания угля. Центральная часть города из-за преобладающих направлений ветра (западное,

северо-западное, юго-западное и северное) также оказывается под угрозой заражения продуктами горения угля со стороны районов юрточной застройки (северная часть города) и ТЭС-3 (западная часть города).

Для выявления и характеристики источников природного и антропогенного загрязнения поверхностных почв г. Улан-Батора, а также для разработки наиболее подходящей методологии корректирующих действий необходимо расширить статистическую модель данными макроэлементов для изучаемых почв.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по проекту IX.127.1.4. (0350-2016-0027) и договоров о научном сотрудничестве между Институтом геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН и Институтом физики и технологии МАН; Иркутским государственным университетом и Институтом физики и технологии МАН.

Список литературы

Архив погоды в Улан-Баторе [Электронный ресурс]. URL: https://world-weather.ru/archive/mongolia/ulaan_baator/ (дата обращения 28.09.2018).

Батхшииг О. “Туул голын хөндийн хөрс- геохимийн онцлог”. Газарзүйн шинжлэх ухаан (01.07.04)- аар боловсролын доктор (Ph.D)-ын зэрэг горилсон бүтээлийн хураангуй. Гео-экологийн хүрээлэн, Улаанбаатар, 1999. 23х.

Васильева И. Е., Шабанова Е. В. Дуговой атомно-эмиссионный анализ для исследования геохимических объектов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78, № 1-II. С. 14–24.

Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М. : ГНУ Почв. ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008. 164 с.

Нийслэлийн статистикийн мэдээ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ubstat.mn/> (дата обращения 01.10.2018).

Почвенный покров и почвы Монголии / под ред. И. П. Герасимова, Н. А. Ногиной, Д. Доржготова. М. : Наука, 1984. 192 с.

Сахабиев И. А., Рязанов С. С. Исследование пространственной изменчивости свойств почв с использованием геостатистического подхода // Рос. журн. приклад. экологии. 2015. № 2. С. 32–37.

Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) / Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева, О. И. Сорокина, П. Д. Гунин, С. Н. Бажа, С. Энх-Амгалан // Почвоведение. 2011. № 7. С. 771–784.

Borůvka L., Vacek O., Jehlička J. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils // Geoderma. 2005. N 128. P. 289–300.

Distribution of toxic and essential elements in soils of Ulaanbaatar city / I. E. Vasilyeva, E. V. Shabanova, A. A. Doroshkov, O. A. Proydakova, Ts. Otgontuul, B. Khuukhtnkhuu, Ts. Byambasuren // Environment and sustainable development in Mongolian plateau and surrounding regions. 2013. Vol. 1. P. 67–71. URL: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmNxb25wbGF0ZWF1MjAxM3xneDoyMzJjMWJINjRmNTU3NmM>.

Facchinelli A., Sacchi E., Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils // J. Environ. Pollut. 2001. N 114. P. 313–324.

Gallego J. L. R., Ordoñez A., Loredó J. Investigation of trace element sources from an industrialized area (Avilés, northern Spain) using multivariate statistical methods // Environ. Int. 2002. N 27. P. 589–596.

Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China / T. Chen, X. M. Liu, M. Z. Zhu, K. L. Zhao, J. J. Wu, J. M. Xu, P. Huang // *Environ. Pollut.* 2008. Vol. 151, N 1. P. 67–78.

Johnson D. E. Applied multivariate methods for data analysts. Duxbury Press, Pacific Grove, CA, USA. 1998. P. 319–396.

Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants, 4th edition. Taylor and Francis Group, LLC. 2011. 505 p.

Metal contamination in urban, suburban and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics / C. S. Lee, X. Li, W. Shi, S. C. Cheung, I. Thornton // *Sci. Total Environ.* 2006. N 356. P. 45–61.

Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany / S. Norra, M. Lanka-Panditha, U. Kramar, D. Stüben // *Appl. Geochem.* 2006. N 21. P. 2064–2081.

Wong C. S., Li X., Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals // *Environ. Pollut.* 2006. N 142. P. 1–16.

Zinkutė R., Taraškevičius R., Želvyys T. Major elements as possible factors of trace element urban pedochemical anomalies // *Cent. Eur. J. Chem.* 2011. Vol. 94, N 2. P. 337–347.

Distribution of Trace Elements in Soils of Ulaanbaatar

Ts. Byambasuren

*Irkutsk State University, Irkutsk
Institute of Physics and Technology of MAS, Ulaanbaatar*

E. V. Shabanova

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk

A. T. Korolkov

Irkutsk State University, Irkutsk

I. E. Vasilyeva

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk

G. Ochirbat, B. Khuukhenkhuu

Institute of Physics and Technology of MAS, Ulaanbaatar

Abstract. Ulaanbaatar surface soils are subject to high anthropogenic pressure. Sources of potentially toxic elements (Ag, As, B, Ba, Bi, Co, Cd, Cr, Cu, F, Ge, Mo, Mn, Li, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, V and Zn) in the surface soil were identified by factor analysis via the trace element composition of 325 soil samples. The samples characterized the different areas of the city and had different degree of anthropogenic load: near thermal power plants; roads; residential areas; urban park zones. An exploration statistical analysis of the data showed that there was one (or more) pollution source. Factor analysis identified five principal components to explain 69,1 % of the total data variance. Ordinary kriging was used to interpolate and map of soil properties. The distributions of the selected factors indicate a high probability of environmental problems for the areas of Ulaanbaatar where thermal power plants and yurt buildings are located, and also point that dust aerosols from coal combustion is the main reason the enrichment of urban soils with trace elements. The specific wind rose contaminates the Central area of Ulaanbaatar by coal combustion products in the Northern areas of the yurt building and TPP-3, located in the West of the city. It is shown that a complete description of the sources of the type of contamination of surface soils of Ulaanbaatar, as well as the development of the most appropriate

methodology of corrective actions, require the expansion of the statistical model data of the trace element compositions of the studied soils. The study was conducted in the framework of joint research between the Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Institute of physics and technology MAN and Irkutsk state University.

Keywords: soils of Ulaanbaatar, sources of trace elements, exploration statistical analysis, factor analysis, ordinary kriging.

For citation: Byambasuren Ts., Shabanova E.V., Korolkov A.T., Vasilyeva I.E., Ochirbat G., Khuukhenkhuu B. Distribution of Trace Elements in Soils of Ulaanbaatar. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 26, pp. 31-45. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.31> (in Russian)

References

Архив погоды в Улан-Баторе. Available from: https://world-weather.ru/archive/mongolia/ulaan_baator/ (data obrashcheniya 28.09.2018).

Batkhishig O. *Pochvenno-geokhimicheskaya osobennost' reki Tuul*. Rezyume rabot, predstavlenykh kandidatom geograficheskikh nauk (01.07.04). Ulan-Bator, Institut geokologii, 1999, 23 p.

Vasil'eva I.E., Shabanova E.V. *Dugovoj atomno-ehmissionnyj analiz dlya issledovaniya geokhimicheskikh ob'ektov* [Arc atomic-emission analysis in geochemical research]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. [Industrial Laboratory], 2012, vol. 78, no. 1-2, pp. 14-24. (in Russian)

Vodyanitskiy Yu.N. *Tyazhelye metally i metalloidy v pochvakh*. Moscow, GNU Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva RASKHN, 2008, 164 p.

Niisleliin statistikiin medee. Available from: <http://www.ubstat.mn/> (data obrashcheniya 01.10.2018)

Gerasimov I.P., Nogina N.A., Dorzhgotov D. (esd.). *Pochvennyy pokrov i pochvy Mongolii*. Moscow, Nauka Publ., 1984, 192 s.

Sahabiev I.A., Ryazanov S.S. *Issledovanie prostranstvennoj izmenchivosti svoystv pochv s ispol'zovaniem geostatisticheskogo podhoda* [The study of the spatial variability of soil characteristics using geostatistical approach]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoj ehkologii* [Russian Journal of Applied Ecology], 2015, no. 2, pp. 32-37. (in Russian)

Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Sorokina O.I., Bazha S.N., Gunin P.D., Enkh-Amgalan S. Ecological-geochemical state of soils in Ulaanbaatar (Mongolia). *Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 44, no. 7, pp. 709-721.

Borůvka L., Vacek O., Jehlička J. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 2005, no. 128, pp. 289-300.

Vasilyeva I.E., Shabanova E.V., Doroshkov A.A., Proydakova O.A., Otgontuul Ts., Khuukhtnkhuu B., Byambasuren Ts. Distribution of toxic and essential elements in soils of Ulaanbaatar city. *Environment and sustainable development in Mongolian plateau and surrounding regions*, 2013, vol. 1, pp. 67-71. Available from: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbntb25wbGF0ZWZlMjAxM3xn eDoyMzJjMWJlNjRmNTU3NmM>.

Facchinelli A., Sacchi E., Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *J. Environ. Pollut*, 2001, no. 114, pp. 313-324.

Gallego J.L.R., Ordoñez A., Loredó J. Investigation of trace element sources from an industrialized area (Avilés, northern Spain) using multivariate statistical methods. *Environ. Int.*, 2002, no. 27, pp. 589-596.

Chen T., Liu X.M., Zhu M.Z., Zhao K.L., Wu J.J., Xu J.M., Huang P. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China. *Environ. Pollut*, 2008, vol. 151, no. 1, pp. 67-78.

Johnson D.E. *Applied multivariate methods for data analysts*. Duxbury Press, Pacific Grove, CA, USA, 1998. P. 319-396.

Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants, 4th edition. Taylor and Francis Group, LLC, 2011, 505 p.

Lee C.S., Li X., Shi W., Cheung S.C., Thornton, I. Metal contamination in urban, suburban and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Sci. Total Environ*, 2006, no. 356, pp. 45-61.

Norra S., Lanka-Panditha M., Kramar U., Stüben D. Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany. *Appl. Geochem*, 2006, no. 21, pp. 2064-2081.

Wong C.S., Li X., Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environ. Pollut*, 2006, no. 142, pp. 1-16.

Zinkutė R., Taraškevičius R., Želvys T. Major elements as possible factors of trace element urban pedochemical anomalies. *Cent. Eur. J. Chem*, 2011, vol. 94, no. 2, pp. 337-347.

Цагааны Бямбасурэн

аспирант, младший научный сотрудник
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 24-32-80
Институт физики и технологии МАН
Монголия, 13330, г. Улан-Батор,
пр. Мира, 54б
тел.: +(976) 11 452313
e-mail: tsagaanbyambasuren@gmail.com

Tsagaan Byambasuren

Postgraduate, Researcher
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: (3952) 24-32-80
Institute of Physics and Technology of MAS
54b, Peace av., Ulaanbaatar, 13330, Mongolia
tel.: +(976) 11 452313
e-mail: tsagaanbyambasuren@gmail.com

Шабанова Елена Владимировна

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Институт геохимии
им. А. П. Виноградова СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Фаворского, 1а
e-mail: shev@jgc.irk.ru

Shabanova Elena Vladimirovna

Doctor of Sciences (Physics and
Mathematics), Senior Researcher
Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS
1a, Favorsky st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: + 7 (3952) 425837
e-mail: shev@jgc.irk.ru

Корольков Алексей Тихонович

доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 24-32-80
e-mail: baley51@mail.ru

Korolkov Alexei Tikhonovich

Doctor of Sciences (Geology and
Mineralogy), Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: (3952) 24-32-80
e-mail: baley51@mail.ru

Васильева Ирина Евгеньевна

доктор технических наук
главный научный сотрудник
Институт геохимии
им. А. П. Виноградова СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Фаворского, 1а
e-mail: vasira@jgc.irk.ru

Vasilyeva Irina Evgenyevna

Doctor of Sciences (Engineering),
Chief Scientist
Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS
1a, Favorsky st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: + 7 (3952) 425837
e-mail: vasira@jgc.irk.ru

Ганбаатар Очирбат*магистр**Институт физики и технологии МАН**Монголия, 13330, г. Улан-Батор,**пр. Мира, 54б**тел.: +(976) 11 452313**email: ochir_0528@yahoo.com***Ganbaatar Ochirbat***Master**Institute of Physics and Technology of MAS**54b, Peace av., Ulaanbaatar, 13330, Mongolia**tel.: +(976) 11 452313**email: ochir_0528@yahoo.com***Бямбаа Хуухэнхуу***кандидат физико-математических наук,**профессор, старший научный сотрудник**Институт физики и технологии МАН**Монголия, 13330, г. Улан-Батор,**пр. Мира, 54б**тел.: +(976) 11 452313**email: hunstech@yahoo.co.uk***Byambaa Khuukhenkhuu***Candidate of Physical and Mathematical**Professor, Senior Research Scientist**Institute of Physics and Technology of MAS**54b, Peace av., Ulaanbaatar, 13330, Mongolia**tel.: +(976) 11 452313**email: hunstech@yahoo.co.uk***Дата поступления:** 02.10.2018**Received:** October, 02, 2018