

МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ СНЕГА И ПОЧВ ВАО МОСКВЫ
MONITORING OF SNOW AND SOIL POLLUTION WITH BENZO(A)PYRENE IN
MOSCOW'S EASTERN DISTRICT

Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В.

Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, natalk@mail.ru

Аннотация. Определено содержание бенз(а)пирена (БП) в твердых выпадениях снега и в поверхностном горизонте почв функциональных зон Восточного округа Москвы. Их средние значения в 2010 г. составили 1942 и 409 нг/г соответственно, что в 11,5 и 83 раза выше фона. Интенсивность поступления БП с твердой фазой снега на поверхность почв изменяется от 0,3 до 1150 нг/м² в сутки, а загрязнение почв БП – от 0 до 3000 нг/г и более. В снеге и почвах в центре и на северо-западе округа выявлены две крупные техногенные аномалии БП, которые указывают на устойчивое многолетнее загрязнение ландшафтов.

Ключевые слова: городские почвы, техногенные выпадения, аномалии, загрязнение

Почвы являются основной депонирующей средой в городских экосистемах, определяющей их состояние и уровень загрязнения, качество жизни и здоровье горожан [1]. Особую опасность представляют высокотоксичные соединения – полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), к которым относится бенз(а)пирен (БП).

Из загрязненного воздуха БП поступает в снег и почвы с пылью, аэрозолями, осадками, аккумулируясь в их поверхностном слое. Предшествующие (1990-2006 гг.) наблюдения за содержанием БП в Восточном административном округе (ВАО) Москвы выявили устойчивый тренд его накопления в почвах [2]. В северных городах атмосферные поставки БП в почвы можно определить по его содержанию в снеге [3, 4]. Однако оценка БП во взвешенной или растворимой фазах снега проводится крайне редко, поэтому его вклад в формирование техногенных аномалий в почвах остается мало изученным. Поэтому цель работы – оценить пространственно-временные изменения в содержании БП в почвах ВАО Москвы и его атмосферные поставки с твердофазными выпадениями снега в зимний период.

Территория относится к южно-таежным ландшафтам Мещерской низменности и представляет собой плоскую задровую равнину со средними отметками абсолютных высот около 150 м. В почвенном покрове доминируют урбаноземы, свойства которых отличаются от фоновых дерново-подзолистых почв [2]. Экологическая обстановка в ВАО определяется влиянием автотранспорта, дающего более 90 % выбросов загрязняющих веществ, и промзон, где преобладают предприятия химии и нефтехимии [1].

Съемка снежного покрова выполнена в марте, а почв – в июне 2010 г. Пробы снега и поверхностного (0-10 см) слоя почв отбирались по сетке с шагом 800-1000 м. В снеге выделяли твердую фазу (взвесь). Из-за преобладающего западного атмосферного переноса фоновые пробы снега собраны в 50 км к западу от Москвы. Фоном для городских почв послужили почвы Подмосковной Мещеры в 40-50 км от Москвы, которые сформировались на аналогичных почвообразующих породах. БП определялся методом низкотемпературной спектрофлуориметрии [5] в лаборатории углеродистых веществ биосферы МГУ.

Обработка данных включала расчет коэффициентов концентрации БП в снеговой пыли и почвах K_c относительно фоновых значений. Интенсивность атмосферных выпадений БП со снегом (нг/м^2 в сут.) равна $D = P_n \cdot C$, где P_n – суточная пылевая нагрузка, г/м^2 , а C – концентрация БП в твердой фракции снега, нг/г . Коэффициенты превышения атмосферных выпадений БП D над фоном D_b рассчитывались как $K_d = D/D_b$. Картографирование содержания БП в снеге и почвах выполнено в пакете ArcGIS 10 методом сплайнов.

БП в снеге фоновых и городских ландшафтов. В фоновых ландшафтах твердая фаза снега отличается низким содержанием БП – 169 нг/г , что свидетельствует о его невысокой атмосферной поставке в почвы (табл. 1). Концентрация БП в пылевой фракции снега характеризуется высокой изменчивостью с коэффициентом вариации C_v 106 %. Интенсивность выпадений БП составляет около 2 нг/м^2 в сутки.

Таблица 1.

Содержание БП в твердой фазе снега и интенсивность его выпадений в холодную часть года на фоновой территории и в функциональных зонах ВАО Москвы (данные 2010 г.)

Показатели	Фон (5)	Функциональные зоны* (число проб)						
		А (13)	П (5)	Жилая застройка			ПА (3)	Р (6)
				У (5)	С (13)	В (5)		
Содержание БП в твердой фазе снега (нг/г)								
Среднее	169	3605	5732	604	1225	224	197	154
Min-max	69,4-489	26,7-22532	275-22040	232-1466	13,2-7278	14,5-466	149-238	14,2-379
C_v , %	106	201	163	84,8	178	77,8	22,9	90,2
K_c	1,0	21,3	33,9	3,57	7,25	1,32	1,16	0,91
Интенсивность выпадений БП с твердой фазой снега на поверхность почв (нг/м^2 в сут.)								
Среднее	2,0	163	189	18,7	43,2	7,2	3,4	2,4
Min-max	0,12-0,54	0,18-115	0,89-49,5	0,03-2,14	0,03-28,3	0,03-2,14	0,24-0,42	0,03-0,48
C_v , %	92,1	193	125	102	190	116	27,0	80,2
K_d	1,0	80,7	93,4	9,24	21,4	3,56	1,66	1,18

*Здесь и в табл. 2 функциональные зоны обозначены: А – крупные автомагистрали, П – промышленная, В – высотная застройка, С – жилая застройка средней этажности, У – усадебная застройка, ПА – постагрогенная, Р – рекреационная

В городе содержание БП в твердой фракции снега составляет в среднем 1942 нг/г (табл. 1), что в 11,5 раз выше фона и почти в 100 раз ПДК. Оно сильно различается по функциональным зонам, достигая максимума в промышленной ($Kc=34$) и транспортной ($Kc=21$) зонах. Поступление БП из атмосферы определяется интенсивностью выпадения пылевых частиц, равной в среднем по округу $75,6 \text{ нг/м}^2$ в сут. ($Kd=38$), изменяясь от 189 в промзонах до 2,4 в рекреационной зоне. Выпадения БП в двух наиболее загрязненных зонах превышают фоновые в 93-80 раз, в рекреационной зоне они близки к фону ($Kd=1,2$).

Наибольшая интенсивность твердофазных выпадений БП наблюдается в двух крупных аэротехногенных аномалиях. Северо-западная аномалия расположена по обе стороны ш. Энтузиастов, здесь атмосферные поставки БП изменяются от 50 до 550 нг/м^2 в сутки. Центральная аномалия вблизи МКАД имеет максимум выпадений БП 110 нг/м^2 в сут.

БП в фоновых и городских почвах. Фоновые почвы отличаются от снега фоновых ландшафтов очень низкими концентрациями БП в поверхностном слое. Среднее содержание БП в почвах в 34 раза ниже, чем в твердой фазе снега (табл. 2). При этом почвы обладают такой же высокой неоднородностью содержания БП ($Cv=92,7 \%$), что и снег.

Среднее содержание БП в городских почвах в 83 раза превышает фон и в 20 раз ПДК с наибольшим накоплением в промзонах и вблизи автомагистралей (табл. 2), где он концентрируется на техногенном щелочном геохимическом барьере. Содержание БП очень неоднородно (Cv 84-194 %). Концентрации БП в твердой фазе снега в 4-7 раз больше, чем в почвах, что свидетельствует о его высоких атмосферных поставках на территории ВАО.

Таблица 2.

Содержание БП в почвах фоновой территории и ВАО Москвы (данные 2010 г.)

Показатели	Фон (10)	Функциональные зоны (число проб)						
		А (13)	П (5)	Жилая застройка			ПА (3)	Р (6)
				У (5)	С (13)	В (5)		
Среднее, нг/г	4,93	566	1563	84,3	283	34,6	4,7	164
Min-max	0-15	1,4-3278	299-3611	1,3-299	7,0-1273	0-67,0	0-14,0	0-798
Cv , %	92,7	153	83,8	147	131	85,6	171	194
Kc	1,0	115	317	17,1	57,4	7,02	0,95	33,3

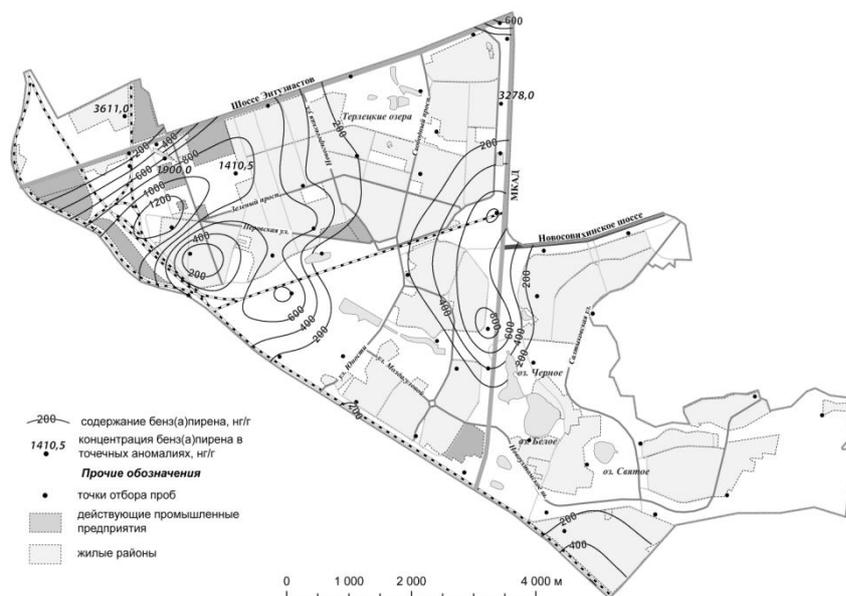


Рис. 1. Содержание БП в поверхностном (0-10 см) слое почв ВАО Москвы (данные 2010 г.)

Картографирование содержания БП в почвах (рис. 1) обнаружило крупную аномалию на северо-западе ВАО с интенсивностью загрязнения от 200 нг/г на периферии до 1200 нг/г (60 ПДК) в ее эпицентре, совпадающую с аномалией БП в снеге (рис. 1). Другая аномалия локализована в центре округа вблизи МКАД с содержанием БП от 200 до 800 нг/г. На остальной территории концентрации БП в почвах колеблются от 0 до 200 нг/г.

Многолетняя динамика содержания БП в почвах. Ретроспективный анализ накопления БП в почвах округа основан на сопоставлении современной ситуации (рис. 1) с картами аномалий БП, составленными по данным съемок 1990 и 2006 гг. [2]. В 1990 г. в почвах округа выявлены две техногенные аномалии с содержанием БП до 600-1400 нг/г на северо-западе и в центре ВАО, приуроченные к промзонам и автомагистралям. В 2006 г. их контрастность выросла до 3000 нг/г. К 2010 г. концентрации БП в аномалиях составили 800–1200 нг/г, а в отдельных точках поднялись до 3278 и 3611 нг/г (рис. 1).

Для определения современных и унаследованных тенденций в динамике накопления БП в ландшафтах проведен совместный анализ карт загрязнения снежного и почвенного покровов за 2010 г. и выявлены техногенные аномалии полиарена трех категорий: 1 – устойчивого многолетнего загрязнения при совпадении аномалий в почвах и снеге; 2 – реликтового загрязнения с аномалиями только в почвах; 3 – современного загрязнения, наблюдающегося только в снеге [6]. Так, крупная аномалия БП на северо-западе округа относится к первой категории. Ее восточная часть с высокими концентрациями БП только в почвах относится к реликтовым техногенным образованиям. Другая такая аномалия БП обнаружена по обе стороны МКАД. Южнее ее характер меняется: при среднем уровне загрязнения почв содержание БП в снеге максимально, что указывает на выбросы БП вновь открытыми предприятиями. Это

сочетание определяет ее как современную развивающуюся аномалию.

Исследования финансировались Русским географическим обществом (договор № 07/2014-П1).

Литература

1. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния. Под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.
2. Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а)пирена в городских почвах (на примере ВАО Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Серия 17: Почвоведение. 2011, № 2. С. 25-34.
3. Sharma, M., McBean, E.A. PAH deposition to snow surface // Environ. Sci. Pollut. Res. 2001, 8 (1), 11–18. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02987290>.
4. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Моск. ун-та. Серия 5: География. 2012. № 4. С. 14-24.
5. Алексеева Т.А., Теплицкая Т.А. Спектрофлуориметрические методы анализа ароматических углеводородов в природных и техногенных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 215 с.
6. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саг и др. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.

Summary

The content of benzo(a)pyrene (BaP) in solid fraction of snow and in the topsoils of land-use zones in the Eastern District of Moscow was determined. In 2010 their average values are 1942 and 409 ng/g, respectively, this is 11.5 and 83 times higher than the background. The intensity of the BaP fallout with snow on the soil surface varies from 0.3 to 1150 ng/m² per day, and soil pollution with BaP – from 0 to 3000 ng/g or more. In the central and north-western parts of the District two major technogenic BaP anomalies in snow and soils were identified which indicate a stable long-term pollution of the landscapes.