

УДК 504.054;504.064.2.001.18

ПЕРВАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА г. УЛАН-УДЭ

© 2024 г. Н. Е. Кошелева, Н. Б. Жаксылыков*,
Ю. А. Завгородняя, академик РАН Н. С. Касимов

Поступило 31.05.2024 г.

После доработки 05.06.2024 г.

Принято к публикации 18.06.2024 г.

Впервые проанализировано содержание 17 индивидуальных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в образцах фоновых и городских почв, полученных при геохимической съёмке территории г. Улан-Удэ летом 2022 г. Среднее содержание ПАУ в почвах города составляет 801 нг/г, что более чем в 8.5 раза превышает уровень в фоновых каштановых почвах. Почвенный покров загрязнён преимущественно средне- и высокомолекулярными полиаренами. Доли индивидуальных ПАУ в почвах Улан-Удэ колеблются в диапазоне 4–11% при среднем значении 6%. В почвенном покрове города выявлено 10 высококонтрастных аномалий с суммой ПАУ от 3162 до 10189 нг/г. Метод главных компонент и индикаторные соотношения полиаренов позволили оценить основные типы источников и их вклад в загрязнение городских почв.

Ключевые слова: ПАУ, техногенные аномалии, сжигание углей, промышленные выбросы, индикаторные соотношения

DOI: 10.31857/S2686739724100209

ВВЕДЕНИЕ

В городах в условиях постоянной техногенной нагрузки формируются контрастные геохимические аномалии. Функционирование промышленных предприятий, объектов теплоэнергетики, очистных сооружений, полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО), проведение строительных и инженерных работ и движение авто- и железнодорожного транспорта создают постоянный приток поллютантов в компоненты городских ландшафтов. Почвенный покров городов является приоритетным объектом мониторинга из-за своей способности маркировать многолетнее загрязнение [1].

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, полиарены) являются значимыми загрязнителями городской среды, что связано с их высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью [2–4]. Высокая экологическая опасность этих соединений создаёт риски

для здоровья населения. ПАУ являются органическими соединениями бензольного ряда, в структуре которых присутствует от 2 до 7 конденсированных бензольных колец. По сложности строения молекул ПАУ делятся на низкомолекулярные, в структуре которых присутствуют 2–3 бензольных кольца, среднемолекулярные, состоящие из 4 колец, и высокомолекулярные с 5 и более бензольными кольцами. В зависимости от строения молекул ПАУ обладают различными физико-химическими свойствами и поступают из разных природных и техногенных источников. ПАУ петрогенного происхождения связаны с сырой нефтью и нефтепродуктами, ПАУ пирогенного происхождения образуются в результате сжигания ископаемого топлива, древесины и других материалов. Средне- и высокомолекулярные ПАУ более устойчивы к фотохимическому и микробиологическому разложению, что усиливает их экологическую опасность [5, 6]. Единственный нормируемый в РФ бенз(а)пирен (БаП) обладает ярко выраженными токсическими свойствами и относится к суперзагрязнителям.

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
*E-mail: niyaz.zh@mail.ru

Загрязнение ПАУ городских ландшафтов особенно ярко выражено там, где объектами теплоэнергетики используются каменный и бурый угли. По этому показателю существует значительная дифференциация российских регионов. В европейской части России в основном используется газ, регионы Сибирского и Дальневосточного федеральных округов традиционно эксплуатируют угольные ТЭЦ, поэтому для них характерны более высокие концентрации в атмосфере и более высокая пирогаемость ПАУ [7]. Это определяет высокую актуальность эколого-геохимических исследований воздействия топливно-энергетического комплекса на состояние окружающей среды. Целью данной работы является оценка загрязнения почвенного покрова столицы Бурятии г. Улан-Удэ полиаренами. Ранее содержание ПАУ в почвах Улан-Удэ не изучалось. В Бурятии уровень газификации практически близок к нулю, а доля площади жилых зданий с автономными системами отопления, в которых сжигается древесина и уголь, достигает 52% [8]. Поставлены следующие задачи:

- проанализировать содержание 17 индивидуальных ПАУ в образцах фоновых и городских почв, тугнуйского угля и золошлаковых отходов ТЭЦ;
- изучить особенности пространственного распределения полиаренов в почвах города, выделив локальные аномалии ПАУ;
- определить пути поступления ПАУ в почвенный покров и приоритетные источники загрязнения.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Природные условия. Улан-Удэ находится в Селенгинском среднегорье, в Иволгино-Удинской межгорной впадине, вытянутой в широтном направлении. Город расположен в нижнем течении Селенги, при впадении в неё притока Уды. В юго-западной и северо-восточной части Улан-Удэ ограничен хребтами Хамар-Дабан и Улан-Бургасы, а на юге и юго-востоке – хребтами Цаган-Дабан и Селенгинским среднегорьем. Климат территории резкоконтинентальный, средние температуры самого холодного (январь) месяца –19, –22, самого теплого (июль) – 24–25°C. Годовое количество осадков составляет 300–400 мм с максимумом летом. Для Улан-Удэ характерна низкая ветровая активность, средние скорости ветров 2–3 м/с.

В автоморфных позициях исследуемой территории распространены каштановые и лугово-каштановые почвы, в поймах – аллювиальные дерновые, болотные и лугово-болотные почвы. Под сосновыми лесами на окраинах города встречаются боровые пески и дерновые лесные почвы. В условиях постоянной техногенной нагрузки почвенный покров города трансформируется, образуются механически и химически преобразованные почвы, урбанозёмы, экранозёмы, реплантозёмы и техногенные грунты. Растительный покров в Улан-Удэ представлен в основном сосновыми лесами с рододендровым подлеском. В пределах города растительность разрежена и неоднородна.

Источники техногенного воздействия. Известно, в городах ПАУ синтезируются при сгорании разных видов топлива, содержатся в выбросах авто- и железнодорожного транспорта, многих промышленных производств, включая химические предприятия и нефтепереработку [9–12]. Особенно велик вклад ТЭЦ, работающих на угле и мазуте [13]. В Улан-Удэ крупными источниками ПАУ могут быть выбросы и золошлакоотвалы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, где в качестве топлива используется местный каменный уголь из разреза “Тугнуйский”. К источникам загрязнения можно отнести также более 20 тыс. автономных источников теплоснабжения в частной жилой застройке, где в печах и котлах сжигается древесина хвойных пород и каменный уголь.

Улан-Удэ является крупным транспортным центром, через него проходит участок Транссибирской магистрали и федеральной автотрассы “Байкал”. Автомобильный и железнодорожный транспорт, а также объекты их инфраструктуры могут поставлять значительное количество ПАУ в почвенный покров города. Среди потенциальных источников ПАУ следует отметить локомотивовогоноремонтный и машиностроительный заводы, завод по производству металлических конструкций “Улан-Удэстальмост”.

Материалы и методы исследования. В июне-августе 2022 г. проведено опробование верхнего (0–10 см) горизонта почв разных функциональных зон г. Улан-Удэ по регулярной сетке с шагом 700–1000 м. Всего было отобрано 220 образцов почв в городе и 12 образцов фоновых почв за пределами Улан-Удэ.

Содержание 17-ти ПАУ в почвах, образцах угля и золы анализировалось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием жидкостного хроматографа с флуориметрическим детектором в Центре

Таблица 1. Среднее содержание ПАУ в верхнем (0–10 см) горизонте почв по функциональным зонам г. Улан-Удэ, нг/г

Функциональные зоны (количество проб)	Сумма низко- молекулярных ПАУ	среднемолекулярные			высокомолекулярные					Сумма ПАУ
		Хризен (4*)	Пирен (4)	Флуорантен (4)	Бенз(а)пирен (5)	Бенз(е)пирен (5)	Бензо(б)флуоран- тен (5)	Бензо(ghi)пери- лен (6)	Индено(1,2,3-cd) пирен (6)	
Фон (12)	10.95	7.44	10.2	14.2	5.51	6.6	9.88	11.4	8.1	93.6
Промышленная (41)	130	67.9	113	144	47.7	75.5	72.6	86.3	53.2	873
Жилая многоэт. (56)	53.7	40.4	57.8	75.8	35.9	43.7	54.9	66.1	45.9	530
Жилая одноэт. (76)	85.4	68.3	107	132	62.2	71.2	81.4	91.9	62.6	860
Автотранспортная (22)	113	60.5	95.5	122	53.8	67.1	83.4	118	76	873
Транспортная ж/д (7)	353	179	408	583	59.9	145	182	101	54.3	2247
Рекреационная (18)	50	33.8	50.6	70.7	26.7	38.7	42.8	51.5	33.6	444
Среднее в городе (220)	94.2	62	101	130	50	65.1	74.2	84.7	55.9	801

*Примечание. В скобках — количество бензольных колец.

коллективного пользования “Хроматографический анализ объектов окружающей среды” МГУ.

Степень контрастности техногенных аномалий ПАУ в городских почвах определялась по коэффициентам концентрации $K_c = C_i/C_f$, где C_i и C_f — содержание i -го ПАУ в городских и фоновых почвах соответственно. Основные источники полиаренов и их вклад в загрязнение верхних горизонтов городских почв оценивались на основе анализа главных компонент в пакете Statistica 12.0 и расчёта парных диагностических соотношений ПАУ. Карта суммарного содержания ПАУ в почвах Улан-Удэ составлена в пакете ArcGIS 10.3 путём интерполяции методом ОВР, распределение суммы ПАУ показано цветовым фоном. Из-за наличия экстремальных значений, в десятки раз превосходящих средние, локальные экстремумы изображены на карте пунсонами разного размера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сумма 17-ти рассматриваемых ПАУ в образцах тугнуйского угля достигает 19967 нг/г, что в 3.7 раза больше, чем в Канско-Ачинских бурых углях [14]. Так же, как и в Канско-Ачинских

углях преобладают среднемолекулярные ПАУ с долей в сумме ПАУ 39%; низко- и высокомолекулярные соединения составляют 28.9 и 32.1% соответственно. Состав ПАУ в тугнуйских углях определяется 2–3-ядерными нафталином и фенантrenom (10.2% и 10.5% от суммы ПАУ), 4-ядерными хризенom (15.8%), флуорантеном (10.5%), пиреном (8.5%), 5–6-ядерными бензо(б)флуорантеном (8.9%) и бензо(ghi)периленом (7.1%). В золошлаковых отходах двух улан-удэнских ТЭЦ суммарное содержание полиаренов 72–78 нг/г, на долю низко- и среднемолекулярных структур приходится 37.5–40.1 и 39.5–40.2% соответственно.

Состав ПАУ в фоновых почвах и в почвенном покрове Улан-Удэ показан в табл. 1 и на рис. 1. Сумма ПАУ в фоновых почвах составляет 93.6 нг/г, что близко к значениям, полученным для фоновых почв Тюмени (114 нг/г) и Северобайкальска (110 нг/г) [14, 15]. Наиболее высокие доли в фоновых почвах наблюдаются у средне- и высокомолекулярных флуорантена, бензо(ghi)-перилена, пирена, бензо(б)флуорантена, индено(1,2,3-cd)пирена и низкомолекулярного фенантрена. У остальных 2–3-ядерных ПАУ доля не превышает 1%.

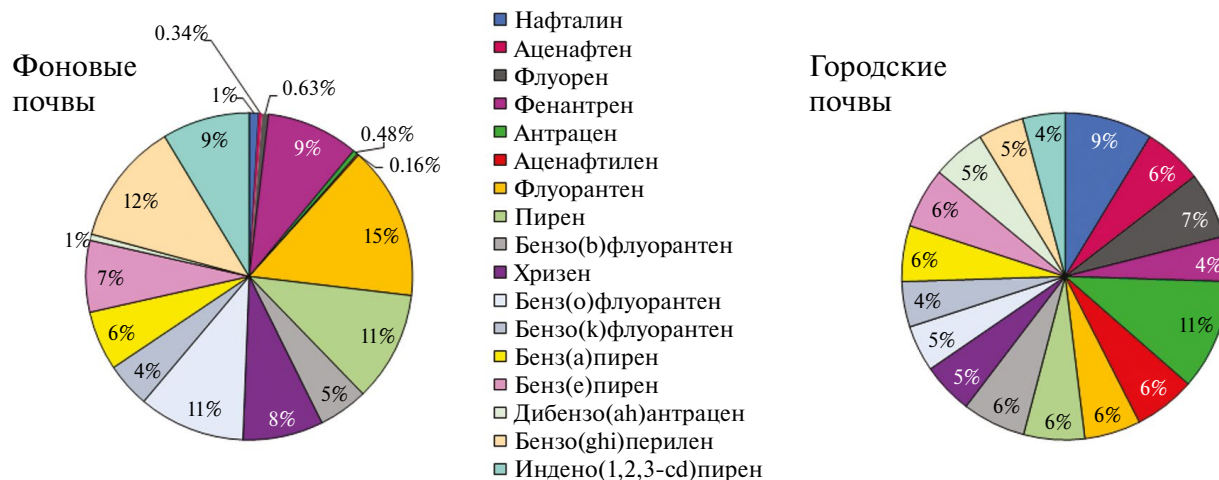


Рис. 1. Состав ПАУ в фоновых почвах и в почвах Улан-Удэ.

В почвенном покрове Улан-Удэ среднее содержание суммы полиаренов достигает 801 нг/г, что более чем в 8.5 раз выше, чем в фоновых почвах. В городских почвах интенсивно накапливаются в основном средне- и высокомолекулярные соединения, которые на 42.6 и 45.7% определяют загрязнение ПАУ. По интенсивности аккумуляции в почвах лидируют 3-ядерный фенантрен, 4-ядерные флуорантен, пирен, хризен, высокомолекулярные бензо(ghi)перилен, бензо(б)флуорантен, бенз(е)пирен, индено(1,2,3-сd)пирен и БаП. Доли отдельных ПАУ в их суммарном содержании колеблются в диапазоне 4–11% при среднем значении 6% (рис. 1). Наиболее загрязнённой является железнодорожная транспортная зона со средней суммой ПАУ 2247 нг/г, что в 2.6 раза больше, чем в промышленной и автотранспортной зонах.

По сравнению с Северобайкальском и Тюменью загрязнение ПАУ почв Улан-Удэ в 1.8–2.3 раза интенсивнее, что можно объяснить большим количеством источников и неблагоприятным ветровым режимом, препятствующим выносу техногенных выбросов за пределы города. По составу ПАУ почвы Улан-Удэ, как и Байкальска [16], отличаются преобладанием средне- и высокомолекулярных соединений, что характерно для выбросов одноэтажной жилой зоны с печным отоплением.

Сравнение с крупными промышленными городами восточного и северо-восточного Китая, в которых превышение содержания ПАУ в городе над фоном достигает 30–36 раз, показало значительно меньший уровень загрязнения почв Улан-Удэ полиаренами [17, 18].

Пространственное распределение ПАУ в городских почвах. Сумма 17-ти изучаемых полиаренов в почвенном покрове Улан-Удэ варьирует от 18.4 нг/г до 10189 нг/г. На 32.7% территории Улан-Удэ содержание ПАУ не превышает 250 нг/г, на 19.1% колеблется в пределах 250–500 нг/г, на 30.1% – 500–1000 нг/г, на 13.6% – 1000–3000 нг/г. Максимальные концентрации полиаренов (3162–10189 нг/г) наблюдаются в 10 точках опробования. Участки с высококонтрастными аномалиями суммы ПАУ, отмеченные на рис. 2 пунсонами светло-розового цвета, занимают 4.5% территории города, они расположены в селитебной одноэтажной (аномалии № 3, 4, 8, 9), железнодорожной транспортной (№ 2, 10), автотранспортной (№ 6, 7) и промышленной функциональных зонах (№ 1, 5). Локализация аномалий вблизи источников сжигания угля и других видов топлива, а также золошлакоотвала ТЭЦ-1 указывает на ведущую роль этих источников в загрязнении городских почв ПАУ. Абсолютный максимум суммы ПАУ (аномалия № 10) 10189 нг/г зафиксирован в транспортной железнодорожной зоне, где локальная аномалия примыкает на юге к небольшой промышленной зоне, а севернее неё проходит асфальтированная автодорога. Таким образом, железнодорожный транспорт представляет собой крупный источник загрязнения почв ПАУ.

В локальных аномалиях доминируют средне- и высокомолекулярные соединения: их общая доля в центрах аномалий достигает 82–99%. Загрязнение почв города полиаренами на 23–58% определяется 4-ядерными флуорантеном и пиреном. Существенный вклад в загрязнение почв вносят высокомолекулярные бензо(б)флуорантен и бензо(ghi)перилен, стоит также отметить индено(1,2,3-сd)пирен, БаП, бенз(е)пирен

и 4-ядерный хризен. Доля низкомолекулярных ПАУ незначительна и в большинстве аномалий не превышает 10%, достигая 15–18% в трёх аномалиях (№ 4, 3, 10), что обусловлено значительным вкладом фенантрена.

Диагностика источников ПАУ. Основные источники поллютантов и их вклад в загрязнение верхних горизонтов почв определяли методом главных компонент в пакете Statistica 12.0. Результаты анализа массива данных с концентрациями полиаренов в почвах Улан-Удэ позволили выделить три фактора. Первый фактор объясняет 76.8 % общей дисперсии и включает тяжелые 5–6-ядерные ПАУ с очень высокими факторными нагрузками (бензо(b)- и бензо(k)-флуорантен, БаП, бенз(е)пирен, дибензо(ah)антрацен, бензо(ghi)перилен, индено(1,2,3-cd)

пирен) и 4-ядерные бенз(а)антрацен и хризен, образующиеся при сжигании древесины и угля в частных домах, каменного угля на ТЭЦ, промышленном сжигании нефти и содержащихся в выбросах автотранспорта с бензиновым и дизельным двигателями, и железнодорожного транспорта. На второй фактор приходится 13.7% дисперсии, он характеризует накопление легких 2–3-ядерных ПАУ (нафталина, аценафтилена, аценафтена, флуорена, антрацена) и отражает вклад лесных пожаров и петрогенных источников ПАУ, включая угольную пыль. Вклад третьего фактора составляет 4.5%, он связан с накоплением 3-ядерного фенантрена и 4-ядерных ПАУ флуорантена, пирена, хризена, образующихся при сжигании древесины и угля, дизельного топлива в двигателях автотранспорта. Источники

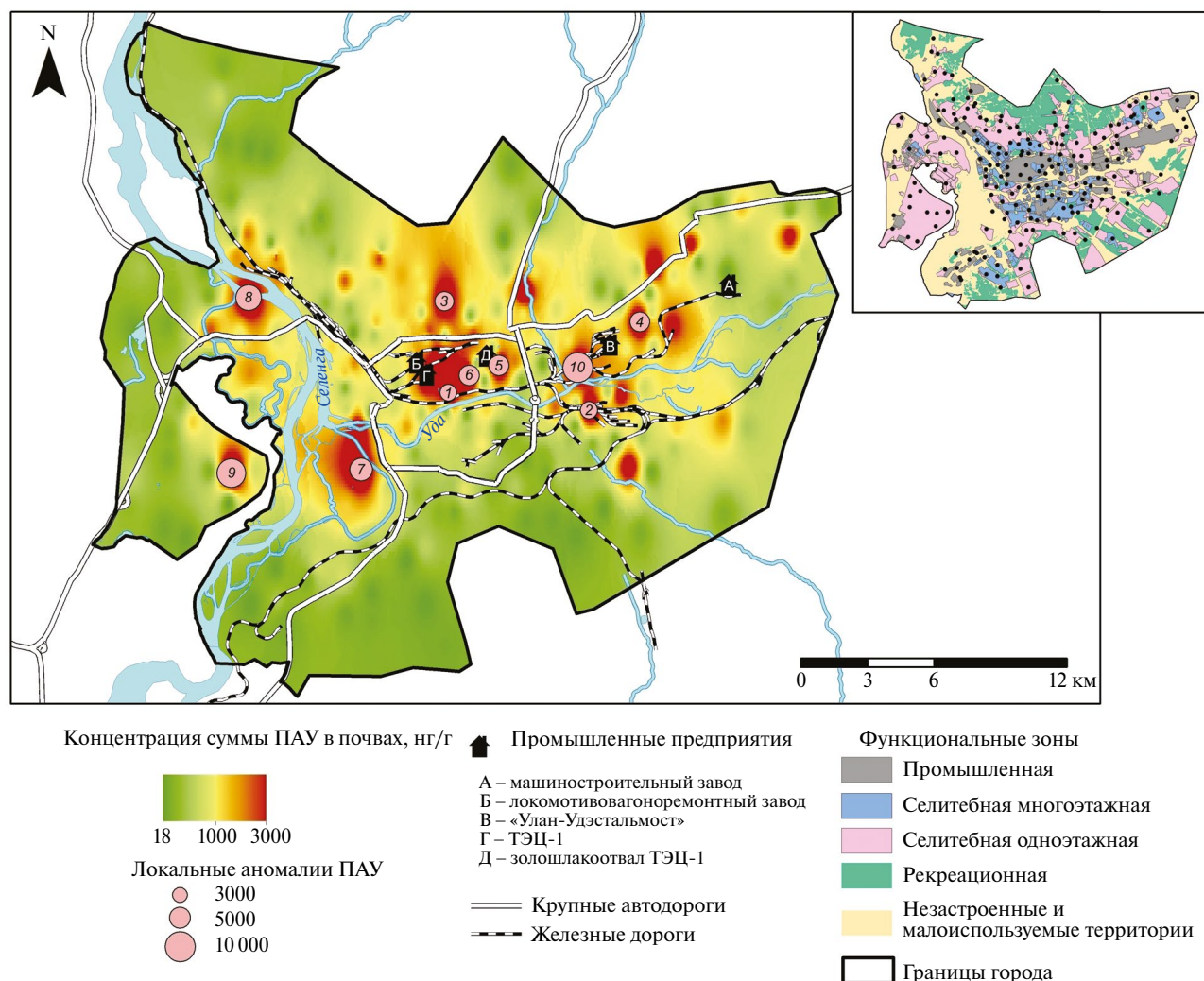


Рис. 2. Точки отбора почвенных проб в функциональных зонах (вверху справа) и распределение суммы ПАУ в верхнем (0–10 см) слое почв г. Улан-Удэ (цифрами обозначены локальные аномалии ПАУ).

фенантрена, у которого самая высокая (0.8) факторная нагрузка, более разнообразны: кроме перечисленных, это сжигание бензина и ТБО, испарение нефтепродуктов, использующихся для обработки железнодорожных шпал.

Роль рассмотренных техногенных источников ПАУ в загрязнении почв Улан-Удэ подтверждают четыре парных диагностических соотношения ПАУ [9, 19, 20].

Отношение 3-ядерных фенантрена P и антрацена A является информативным и надёжным способом разделения источников ПАУ на пирогенные и петрогенные. Значение $P/A > 10$ индицирует петрогенные источники, а $P/A < 10$ указывает на пирогенные. На 50% территории Улан-Удэ $P/A < 10$, на второй половине $P/A > 10$. В железнодорожной транспортной зоне соотношение P/A колеблется от 10.6 до 23.4, что свидетельствует о том, что железнодорожный транспорт является значимым поставщиком петрогенных ПАУ в городских почвах. В остальных зонах загрязнение ПАУ почвенного покрова Улан-Удэ формируется при участии и петрогенных, и пирогенных источников, что подтверждает сильное варьирование отношения P/A от минимальных значений 0.26–3.46 до максимальных 21.3–25.2.

Следующие три соотношения позволяют определить тип сжигаемого топлива. Соотношение антрацена к сумме антрацена и фенантрена $A/(A+P) < 0.1$ указывает на выбросы от сжигания бензина, дизельного топлива, мазута, при превышении значения 0.1 доминирует вклад от сжигания угля и древесины, а также некоторых видов нефтепродуктов и сырой нефти. На 57.7% территории Улан-Удэ города значение $A/(A+P) < 0.1$, при этом в отдельных функциональных зонах показатель варьирует, то превышая, то опускаясь ниже 0.1. Только в пределах железнодорожной транспортной зоны значения $A/(A+P)$ находятся в интервале 0.04–0.09. Максимумы $A/(A+P)$ 0.8 и 0.72 приурочены к одноэтажной жилой зоне, первый в локальной аномалии № 8 (рис. 1) обусловлен сжиганием древесины и угля в печах частных домов.

Соотношение пирена и БаП $Py/BaP > 10$ указывает на петрогенные источники, < 10 на пирогенные, при этом близкое к 1 определяет поступление ПАУ от выхлопных газов бензиновых двигателей, а близкое к 10 — дизельных. Почти на всей территории (97%) Улан-Удэ данное отношение варьирует в пределах 0.54–9.35, что свидетельствует о доминировании пирогенных источников ПАУ в почвах. Около 16% территории в автотранспортной и жилых зонах

характеризуется значениями Py/BaP , близкими к 1. Максимумы Py/BaP (27.5 и 22.7) диагностируют петрогенные источники на северо-восточной и восточной окраинах города в промышленной зоне, связанные с использованием различных нефтепродуктов и масел.

Соотношение бенз(а)антрацена и БаП BaA/BaP идентифицирует поступление ПАУ от сжигания бензина, если оно близко к 0.5, сжигание древесины при значении, близком к 1 и сжигание угля при более высоких значениях. На 18% территории Улан-Удэ в автотранспортной и жилой зонах отношение BaA/BaP составляет 0.5 или немного превышает его. Для 39% территории города значение BaA/BaP близко к 1. Оно наблюдается преимущественно в зоне одноэтажной застройки, где сжигается в основном древесина хвойных пород. На 9% территории соотношение BaA/BaP значительно больше 1, что связано с промышленным сжиганием угля, его высокие значения обнаружены в промышленной и железнодорожной транспортной зонах.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Полевые работы выполнены по договору № 8/Д-2021 с ФГБУ УралНИИ “Экология”, анализ и интерпретация данных — при поддержке РНФ (проект № 19-77-3004-П).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимов Н. С., Власов Д. В., Кошелева Н. Е., Никифорова Е. М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
2. Ровинский Ф. Я. Теплицкая Т. А., Алексеева Т. А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 224 с.
3. Alegbeleye O. O., Opeolu B. O., Jackson V. A. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Critical Review of Environmental Occurrence and Bioremediation // Environmental Management. 2017. V. 60. № 4. P. 758–783. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0896-2>
4. Gusev A., Batrakova N. Assessment of PAH pollution levels, key sources and trends: contribution to analysis of the effectiveness of the POPs Protocol. Technical Report 2/2020. June 2020. Meteorological Synthesizing Centre — East, Moscow, Russia. 52 p.
5. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах. Геннадиев А. Н., Пиковский Ю. И. (ред.). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 192 с.

6. *Dat N.-D., Chang M. B.* Review on characteristics of PAHs in atmosphere, anthropogenic sources and control technologies // *Science of the Total Environment*. 2017. V. 609. P. 682–693.
7. *Халиков И. С., Яхрюшин В. Н., Корунов А. О.* Концентрация 4–6 ядерных ароматических углеводородов в атмосферном воздухе городов России в зимнее время // *Экологическая химия*. 2021. Т. 30. № 2. С. 59–70.
8. *Битюкова В. Р., Дехнич В. С., Кравчик А. И., Касимов Н. С.* Оценка влияния автономных систем отопления жилых строений на загрязнение воздуха в муниципальных образованиях (на примере Байкальского региона) // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2024. Т. 79. № 1. С. 22–36.
<https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.2>
9. *Хаустов А. П., Редина М. М.* Индикаторные соотношения концентраций полициклических ароматических углеводородов в объектах сжигания угольного топлива и биомассы // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2019. № 5. С. 64–71.
10. *Devos O., Combet E., Tassel P., Paturel L.* Exhaust emissions of PAHs of passenger cars // *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2006. V. 26. P. 69–78.
<https://doi.org/10.1080/10406630500519346>
11. *Miguel A. H., Kirchstetter T. W., Harley R. A., Hering S. V.* On-road emissions of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon from gasoline and diesel vehicles // *Environmental Science and Technology*. 1998. V. 32. № 4. P. 450–455.
<https://doi.org/10.1021/es970566w>
12. *Mętrak M., Chmielewska M., Sudnik-Wójcikowska B., Witkomirski B., Staszewski T., Suska-Malawska M.* Does the railway function of railway infrastructure determine qualitative and quantitative composition of contaminants (PAHs, heavy metals) in soil and plant biomass? // *Water, Air and Soil Pollution*. 2015. V. 226. № 8. P. 253–265.
<https://doi.org/10.1007/s11270-015-2516-1>
13. *Журавлева Е. В., Михайлова Е. С., Журавлева Н. В., Исмаилов З. Р.* Полициклические ароматические углеводороды из углей в объектах окружающей среды // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2020. Т. 28. № 3. С. 328–337.
<https://doi.org/10.15372/KhUR2020237>
14. *Кошелева Н. Е., Никифорова Е. М., Тимофеев И. В., Завгородняя Ю. А.* Полициклические ароматические углеводороды в почвах Северобайкальска // *География и природные ресурсы*. 2023. № 4. С. 77–89.
<https://doi.org/10.15372/GIPR20230408>
15. *Константинова Е. Ю., Сушкова С. Н., Минкина Т. М., Антоненко Е. М., Константинов А. О., Хо-рошавин В. Ю.* Полициклические ароматические углеводороды в почвах промышленных и селитебных зон Тюмени // *Известия Томского политех. университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018. Т. 329. № 8. С. 66–79.
16. *Kosheleva N. E., Nikiforova E. M., Zhaxylykov N. B.* Ecological and geochemical assessment of the state of soils in the city of Baikal'sk according to the content of polycyclic aromatic hydrocarbons // *Eurasian Soil Science*. 2024. V. 57. № 4. P. 692–709.
17. *Song N., Ma J., Yu Y., Yang Z., Li Y.* New observations on PAH pollution in old heavy industry cities in northeastern China // *Environmental Pollution*. 2015. V. 205. P. 415–423.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.07.005>
18. *Xu Z., Wang C., Li H., Xu S., Du J., Chen Y., Ma C., Tang J.* Concentration, distribution, source apportionment, and risk assessment of surrounding soil PAHs in industrial and rural areas: a comparative study // *Ecol. Indic.* 2021. V. 125. 107513.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107513>
19. *Yunker M. B., Macdonald R. W., Vingarzan R., Mitchell R. H., Goyette D., Sylvestre S.* PAHs in the Fraser River Basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // *Org. Geochem.* 2002. V. 33. P. 489–515.
[https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00002-5)
20. *Stogiannidis E., Laane R.* Source characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons by using their molecular indices: An overview of possibilities // *Rev. Environ. Contaminat. Toxicol.* 2015. V. 234. P. 49–133.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-10638-0_2

FIRST ASSESSMENT OF SOIL COVER POLLUTION WITH POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN ULAN-UDE

N. E. Kosheleva, N. B. Zhaxylykov[#], Yu. A. Zavgorodnyaya,
Academician of the RAS N. S. Kasimov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

[#]*E-mail: niyaz.zh@mail.ru*

For the first time, the content of 17 individual PAHs was analyzed in samples of background and urban soils obtained during a geochemical survey of the territory of Ulan-Ude in the summer of 2022. The average content of PAHs in the urban soils is 801 ng/g, which is more than 8.5 times higher than the level in background chestnut soils. The soil cover is contaminated predominantly with medium- and high-molecular-weight polyarenes. The share of individual PAHs in the soils of Ulan-Ude ranges within 4–11% with an average value of 6%. In the urban soil cover, ten high-contrast anomalies were identified with the amount of PAHs ranging from 3162 to 10189 ng/g. The principal component analysis and indicator ratios of polyarenes made it possible to identify the main types of sources and their contribution to urban soil pollution.

Keywords: PAHs, technogenic anomalies, coal combustion, industrial emissions, diagnostic ratios