

Читать
онлайн
Read
online

Журба О.М., Меринов А.В., Шаяхметов С.Ф., Алексеенко А.Н.

Полициклические ароматические углеводороды и нефтепродукты в пробах почв территории городской застройки Восточной Сибири

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

Введение. В промышленных городах особенно остро стоит проблема загрязнения окружающей среды супертоксиантами, к которым относится класс полициклических ароматических углеводородов (ПАУ, полиаренов). Поскольку среди ПАУ имеются вещества, обладающие канцерогенным действием, их количественная идентификация в объектах окружающей среды является актуальной задачей.

Материалы и методы. Проведены исследования содержания ПАУ и нефтепродуктов (НП) в почве промышленного города, отобранной в различных функциональных зонах. Определение 16 ПАУ проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) с оптимизированной подготовкой проб. Предложено определять ПАУ методом ГХ-МС с применением способа дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракции (ДЖЖМЭ). НП определяли флуориметрическим методом.

Результаты. Суммарное содержание ПАУ (ΣПАУ) варьировалось от 7,5 до 319,11 мкг/кг. ΣПАУ-канцерогенов в селитебной и санитарно-защитных зонах в среднем было в 25,1–31,2 раза выше, чем в фоновой площадке. Уровни содержания НП в городских почвах находились в диапазоне от 3 до 62,4 мг/кг.

Ограничения исследования. Исследование ограничено изучением верхних слоёв почвы до 5 см. Возможность миграции ПАУ в грунтовые воды не изучалась.

Заключение. В структуре ПАУ преобладали 4–6-ядерные структуры: дибенз(а,һ)антрацен, бенз(ɡ,һ,і)перилен, флуорантен, бенз(Ь)флуорантен и др., составляющие > 87% от общего количества ПАУ. Доля данных полиаренов в общей ΣПАУ в селитебной зоне увеличивается в 1,3 раза по сравнению с фоном, что указывает на возможность их техногенного происхождения. Для показателей ПАУ и НП характерен разброс данных и, как следствие, большое влияние локального фактора на формирование загрязнения почвенного покрова.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды; нефтепродукты; почва; загрязнение

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Журба О.М., Меринов А.В., Шаяхметов С.Ф., Алексеенко А.Н. Полициклические ароматические углеводороды и нефтепродукты в пробах почв территории городской застройки Восточной Сибири. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(12): 1281–1285. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1281-1285> <https://elibrary.ru/jdkfwr>

Для корреспонденции: Меринов Алексей Владимирович, канд. биол. наук, науч. сотр. ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: alek-merinov@mail.ru

Участие авторов: Журба О.М. — концепция и дизайн исследования, анализ материала, статистическая обработка, написание текста; Меринов А.В. — сбор данных литературы, проведение исследований, статистическая обработка, написание текста; Шаяхметов С.Ф. — концепция и дизайн исследования, редактирование, обсуждение результатов; Алексеенко А.Н. — сбор и обработка материала, полевые работы, проведение исследований. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 05.05.2023 / Принята к печати: 15.11.2023 / Опубликована: 28.12.2023

Olga M. Zhurba, Alexey V. Merinov, Salim F. Shayakhmetov, Anton N. Alekseenko

Polycyclic aromatic hydrocarbons and petroleum products in soil samples of urban areas in Eastern Siberia

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

Introduction. In industrial cities, the problem of environmental pollution by supertoxicants, which include the class of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), is especially acute. Since among PAHs there are substances that have a carcinogenic effect, their quantitative identification in environmental objects is an urgent task.

Materials and methods. The content of PAHs and petroleum products (PP) in the soil of an industrial city, taken in various functional zones, was studied. Determination of sixteen PAHs was carried out by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) with optimized sample preparation. It is proposed to determine PAHs by GC-MS using dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME). Petroleum products (PP) were determined by the fluorimetric method.

Results. Total PAHs content (ΣPAH) varied from 7.50 to 319.11 μg/kg. ΣPAH-carcinogens in the residential and sanitary protection zones was on average 25.1–31.2 times higher than in the background site. PP content levels in urban soils ranged from 3.0 to 62.4 mg/kg.

Limitations. The study is limited to the study of the upper layers of soil up to 5 cm. The possibility of PAH migration into groundwater has not been studied.

Conclusion. The structure of PAHs was dominated by 4–6-nuclear structures: dibenz(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, fluoranthene, benzo(b)fluoranthene, etc., making up > 87% of the total amount of PAHs. The proportion of these polyarenes in the total ΣPAH in the residential area increases by 1.3 times compared to the background, which indicates the possibility of their technogenic origin. The PAH and PP indicators are characterized by a scatter of data and, as a result, a large influence of the local factor on the formation of soil cover pollution.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons; petroleum products; soil; pollution

Compliance with ethical standards: the study does not require submission of the Biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Zhurba O.M., Merinov A.V., Shayakhmetov S.F., Alekseenko A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons and petroleum products in soil samples of urban areas in Eastern Siberia. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(12): 1281–1285. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1281-1285> <https://elibrary.ru/jdkfwr> (In Russ.)

For correspondence: Alexey V. Merinov, MD, PhD, researcher of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: alek-merinov@mail.ru

Information about the authors:

Zhurba O.M., <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408> Merinov A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>
Shayakhmetov S.F., <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133> Alekseenko A.N., <https://orcid.org/0000-0003-4980-5304>

Contribution: Zhurba O.M. – the concept and design of the study, analysis of the material, statistical processing, writing the text; Merinov A.V. – collection of literature data, research, statistical processing, writing the text; Shayakhmetov S.F. – the concept and design of the study, editing, discussion of the results; Alekseenko A.N. – collection and processing of material, field work, research. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Acknowledgment. The work was performed within the framework of funds allocated for the implementation of the state task East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: May 5, 2023 / Accepted: November 15, 2023 / Published: December 28, 2023

Введение

Современные города являются центрами сосредоточения промышленных зон, транспорта, коммуникаций и обусловленного этим интенсивным загрязнением окружающей среды [1, 2]. В условиях нарастающего ухудшения экологической ситуации всё большее внимание привлекает проблема загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ, полиарены) [3–7], увеличивающими экологический риск, проявляющимися потенциальную токсичность и мутагенное действие [8].

Агентство по охране окружающей среды США (US Environmental Protection Agency. US EPA) подтвердило, что 16 ПАУ являются приоритетными загрязнителями, семь из которых, включая бенз(а)антрацен, хризен, бензо(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, бенз(а)пирен, индено(1,2,3-с,д)пирен и дибенз(а,н)антрацен, определены Международным агентством по изучению рака (МАИР) как канцерогены для человека [9, 10]. Поскольку присутствие ПАУ в окружающей среде увеличивается, а среди ПАУ имеются вещества, обладающие канцерогенным действием, мониторинг ПАУ в городских почвах приобретает всё большее значение во всём мире [11].

Полиарены повсеместно распространены в глобальной окружающей среде, как правило, они более сконцентрированы вблизи городских районов [7, 12] и поступают в окружающую среду в результате термических процессов: сжигания твёрдых и жидких топлив в промышленности, муниципальной хозяйственной деятельности (пиролитическое разложение отходов), выбросы автотранспорта, утечки бензина и дизельного топлива, табачный дым, разрушающийся асфальт, частицы шин и т. п. [13, 14].

Наибольшая доля всех ПАУ, выбрасываемых в окружающую среду, в конечном итоге оседает в почве в результате поверхностного стока и атмосферных выпадений. Почва является буферной зоной для различных загрязнений, которые потенциально могут влиять на физико-химические и биологические свойства почв [15]. В исследовании Kibblewhite M.G. [16] показано, что способность почвы к самоочищению за счёт микроорганизмов разлагать вредные загрязнения потенциально может быть нарушена из-за токсического воздействия ПАУ. Постэмиссионный перенос, трансформация и другие процессы, которые могут изменить первоначальный состав ПАУ, определяются свойствами соединения, свойствами почвы, растительностью и условиями окружающей среды [15].

В крупных городах техногенное воздействие становится преобладающим над естественными природными факторами почвообразования, что приводит к формированию почв, обогащённых ксенобиотиками. Поскольку ПАУ не только токсичны, но и канцерогенны, их продолжающееся накопление в городских почвах может представлять угрозу для здоровья проживающего вблизи населения [17].

Цель исследования – оценить текущее накопление и распределение ПАУ и НП в пробах почвы, отобранных в пределах разных функциональных зон городской территории г. Ангарска.

Материалы и методы

Территория исследования относится к равнинной местности. Город расположен на юге Средне-Сибирского плоскогорья в междуречье Ангары и Китоя и является промышленным центром Приангарья.

Объектами исследований являлись образцы верхнего слоя (0–5 см) почв территории г. Ангарска. Для выявления специфики и закономерностей загрязнения почвенного покрова проводили полевое опробование в разных функциональных зонах города: санитарно-защитная зона (точка (т.) 1 – пос. Майск, район бывшего института Биофизики; т. 2 – район станции Южная), селитебная (т. 3 – пос. Китой, район старой школы; т. 4 – район сквера «Пионер» возле центрального рынка; т. 5 – Ангарские ворота, район гостиницы «Пушкин»; т. 6 – район около Ангарского лицея № 1; т. 7 – квартал 92/93, район детского сада № 67; т. 8 – 11-й микрорайон, район школы № 7; т. 9 – 15-й микрорайон, район школы № 29; т. 10 – сквер за ТРЦ «Фестиваль»). В качестве фоновой выбрана точка 11 – район села Большежилкино, расположенный за городской чертой и испытывающий в минимальной степени аэротехногенное воздействие. Отбор проб почвы производили в соответствии с требованиями к отбору проб почв методом конверта в соответствии с требованиями к отбору проб почв^{1,2}. Первичная подготовка проб почвы включала в себя удаление корней, растительных остатков и т. д., высушивание образцов до воздушно-сухого состояния на воздухе, растирание и просеивание через сито 2 мм.

Идентификацию и количественное определение ПАУ в почве осуществляли методом ГХ-МС. Градуировочные смеси ПАУ в трихлорметане получали разбавлением стандартной смеси (Supelco кат. № 49156) 16 ПАУ в смеси ацетонитрил/метанол. При пробоподготовке применяли следующие реактивы: ацетон, трихлорметан, бидистиллированная вода. Выполнение измерений осуществляли на газовом хромато-масс-спектрометре с электронной ионизацией Agilent 7890/5975. ГХ-МС анализ экстрактов образцов проводили в режиме селективного ионного мониторинга (SIM), на капиллярной колонке HP-5ms (30 м, 0,25 мм, 0,25 мкм).

Для обработки проб на содержание ПАУ применяли оптимизированные подходы пробоподготовки: жидкостную экстракцию органическими растворителями (дихлорметан, диэтиловый эфир) с последующим концентрированием (упариванием) и дисперсионную жидкостно-жидкостную микроэкстракцию (ДЖЖМЭ). В процессе оптимизации способа ДЖЖМЭ для экстракции ПАУ из твёрдой матрицы проведены исследования по оценке степени извлечения экстрагентами (ацетон и ацетонитрил). Наибольшую эффективность показала экстракция ацетоном в течение 10 мин на механическом вибростмесителе, где степень экстракции составила 81–100%. В каждом образце пробы почвы определяли 16 полиаренов: нафталин (Наф, Naph),

¹ ГОСТ 17.4.3.01–2017 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2018.

² ГОСТ 17.4.4.02–2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018.

Таблица 1 / Table 1

Содержание ПАУ (мкг/кг) и нефтепродуктов (мг/кг) в почвенном покрове г. Ангарска
Content of PAH ($\mu\text{g}/\text{kg}$) and petroleum products (mg/kg) in the soil cover of Angarsk

ПАУ PAH	Санитарно-защитная зона Sanitary protection zone			Селитебная зона / Residential area									Фон Background
	1	2	Среднее Mean	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее Mean	11
Наф / Naph	2.91	1.1	2.01	1.99	1.81	2.68	2.96	4.29	0.92	2.06	2.14	2.36	0.67
Аци / Acy	7.48	0.32	3.90	4.80	7.34	4.04	5.97	2.24	1.46	0.70	1.97	3.57	0.07
Аце / Ace	0.50	0.14	0.32	0.41	1.48	0.91	0.82	1.42	0.16	0.28	0.48	0.75	0.05
Флу / Fl	1.55	0.31	0.93	1.46	1.64	1.29	1.70	2.64	0.58	0.61	1.09	1.38	0.17
Фен / Phe	15.56	3.14	9.35	11.46	13.45	13.03	14.35	12.63	3.80	5.12	8.83	10.33	1.42
Ант / Ant	2.62	0.32	1.47	1.45	1.83	1.59	2.41	1.80	0.65	0.51	1.00	1.41	0.08
Флт / Flt	37.90	6.24	22.07	23.64	42.83	28.50	31.28	26.08	12.33	8.92	17.48	23.88	1.23
Пир / Pyr	32.03	4.18	18.11	20.51	42.50	26.29	29.18	23.12	9.24	6.33	13.56	21.34	0.73
Б(а)А / В(а)А	22.21	3.23	12.72	16.57	31.99	17.57	20.88	22.13	6.40	4.94	8.66	16.14	0.52
Хри / Chr	19.00	4.73	11.87	11.82	30.02	16.99	16.45	15.99	4.18	4.75	9.68	13.74	0.47
Б(б)Ф / В(б)Ф	21.69	3.56	12.63	13.74	31.09	20.28	16.07	16.28	4.14	5.25	10.76	14.70	0.43
Б(к)Ф / В(к)Ф	17.86	3.25	10.56	12.01	19.47	12.78	12.46	11.24	4.48	4.37	8.30	10.64	0.58
Б(а)П / В(а)Р (ПДК = 20 мкг/кг)	17.06	2.56	9.81	11.76	28.92	16.83	17.04	15.03	4.63	3.89	8.36	13.31	0.38
И(1,2,3-с,д)П / I(1,2,3-с,д)P	17.85	3.20	10.53	13.82	31.70	24.08	18.11	17.04	6.42	5.44	12.39	16.13	0.30
Дб(а,х)А / Db(a,х)A	2.85	0.36	1.61	1.70	4.82	3.27	3.04	2.57	0.48	0.58	1.17	2.20	0.10
Б(г,х,и)П / B(g,х,и)P	18.02	2.29	10.16	13.33	28.22	20.30	17.53	15.59	4.96	5.36	10.89	14.52	0.30
Σ 2–3 кольцевых ПАУ Σ 2–3 ring PAHs	30.62	5.33	17.98	21.57	27.55	23.54	28.21	25.02	7.57	9.28	15.51	19.80	2.46
Σ 4–6 кольцевых ПАУ Σ 4–6 ring PAHs	206.47	33.60	120.07	138.90	291.56	186.89	182.04	165.07	57.26	49.83	101.25	146.60	5.04
Σ Канцерогенных ПАУ Σ Carcinogenic PAHs	118.52	20.89	69.73	81.42	178.01	111.80	104.05	100.28	30.73	29.22	59.32	86.86	2.78
Σ ПАУ / Σ РАН	237.09	38.93	138.05	160.47	319.11	210.43	210.25	190.09	64.83	59.11	116.76	166.40	7.50
Нефтепродукты Petroleum products	44.5	3.9	24.2	29.2	23.2	62.4	59.2	31.8	7.5	10.5	6.9	28.8	3.0

аценафтилен (Аци, Асу), аценафтен (Аце, Асе), флуорен (Флу, Fl), фенантрен (Фен, Phe), антрацен (Ант, Ant), флуорантен (Флт, Flt), пирен (Пир, Pyr), бенз(а)антрацен (Б(а)А, В(а)А), хризен (Хри, Chr), бенз(б)флуорантен (Б(б)Ф, В(б)Ф), бенз(к)флуорантен (Б(к)Ф, В(к)Ф), бенз(а)пирен (Б(а)П, В(а)Р), индено(1,2,3-с,д)пирен (И(1,2,3-с,д)П, I(1,2,3-с,д)P), дибенз(а,х)антрацен (Дб(а,х)А, Db(a,х)A) и бенз(г,х,и)перилен (Б(г,х,и)П, B(g,х,и)P). Уровень загрязнения почв индивидуальными ПАУ определяли по коэффициенту концентрации K_c , показывающему превышения содержания поллютанта (C_i) относительно фоновых значений (C_f).

Определение нефтепродуктов проводили в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.21–98³. Статистическую обработку проводили с применением программ Microsoft Excel и статистического программного обеспечения Jamovi (version 2.3). Корреляцию оценивали по параметрическому критерию Пирсона.

Результаты

Количественные показатели содержания ПАУ в почве на исследуемых площадках и в фоновой отметке для удобства восприятия сведены в табл. 1. Наибольшие концентрации полиаренов отмечались на площадках отбора проб: по

нафталину – в т. 7 (4,29 мкг/кг); по аценафтилену – в т. 4 (7,34 мкг/кг) и т. 1 (7,48 мкг/кг); аценафтену – в т. 7 (1,42 мкг/кг) и т. 4 (1,48 мкг/кг); флуорену – в т. 7 (2,64 мкг/кг); фенантрено – в т. 6 (14,35 мкг/кг) и т. 1 (15,56 мкг/кг); антрацену – в т. 6 (2,41 мкг/кг) и т. 1 (2,62 мкг/кг); флуорантену – в т. 1 (37,90 мкг/кг) и т. 4 (42,83 мкг/кг); пирену – в т. 1 (32,03 мкг/кг) и т. 4 (42,5 мкг/кг); бенз(а)антрацену – в т. 4 (31,99 мкг/кг); хризену – в т. 4 (30,02 мкг/кг); бенз(б)флуорантену – в т. 4 (31,09 мкг/кг); бенз(к)флуорантену – в т. 1 (17,86 мкг/кг) и т. 4 (19,47 мкг/кг); бенз(а)пирену – в т. 4 (28,92 мкг/кг); индено(1,2,3-с,д)пирену – в т. 5 (24,08 мкг/кг) и т. 4 (31,7 мкг/кг); дибенз(а,х)перилену – в т. 4 (4,82 мкг/кг); по бенз(г,х,и)перилену – в т. 5 (20,3 мкг/кг) и т. 4 (28,22 мкг/кг).

Сумма 2–3 кольцевых ПАУ варьировалась от 2,46 (т. 11) до 30,62 мкг/кг (т. 1); 4–6 кольцевых ПАУ – от 5,04 (т. 11) до 206,47 мкг/кг (т. 1); канцерогенных ПАУ – от 2,78 (т. 1) до 178,01 мкг/кг (т. 4). Суммарное содержание полиаренов варьировалось от 7,5 (т. 11) до 319,11 (т. 4) мкг/кг.

Уровни НП варьировались от 3 до 62,4 мг/кг. Наибольшие значения концентрации НП в образцах почвенного покрова отмечались на площадках отбора: т. 2 (44,5 мг/кг), т. 5 (62,4 мг/кг) и т. 6 (59,2 мг/кг), расположенных в старой части города. Средние значения для санитарно-защитной и селитебной зон составили 24,2 и 28,8 мг/кг соответственно. Низкие значения НП обнаружены в фоновой площадке (3 мг/кг). Превышение НП над фоном отмечалось на всех площадках исследования в пробах почв г. Ангарска и составило 1,3–20,8 раза.

³ ПНД Ф 16.1:2.21–98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «ФЛЮОРАТ-02». М.: Издательство стандартов; 2007.

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты концентрации (К_c) ПАУ в почвенном покрове г. Ангарска
Coefficients of concentration (K_c) of PAH in the soil cover of Angarsk

ПАУ PAH	Санитарно-защитная зона Sanitary protection zone			Селитебная зона / Residential area								
	1	2	Среднее Mean	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее Mean
Наф / Naph	4.34	1.64	3.00	2.97	2.70	4.00	4.42	6.40	1.37	3.10	3.19	3.52
Аци / Acy	106.86	4.57	55.71	68.57	104.86	57.71	85.29	32.00	20.86	10.00	28.14	51.00
Аце / Ace	10.00	2.80	6.40	8.20	29.60	18.20	16.40	28.40	3.20	5.60	9.60	15.00
Флу / Fl	9.12	1.82	5.47	8.59	9.65	7.59	10.00	15.53	3.41	3.60	6.41	8.12
Фен / Phe	10.96	2.21	6.58	8.07	9.47	9.18	10.11	8.89	2.68	3.60	6.22	7.27
Ант / Ant	32.75	4.00	18.38	18.13	22.88	19.88	30.13	22.50	8.13	6.40	12.50	17.63
Флт / Flt	30.81	5.07	17.94	19.22	34.82	23.17	25.43	21.20	10.02	7.30	14.21	19.41
Пир / Pyr	43.88	5.73	24.81	28.10	58.22	36.01	39.97	31.67	12.66	8.70	18.58	29.23
Б(а)А / B(a)A	42.71	6.21	24.46	31.87	61.52	33.79	40.15	42.56	12.31	9.50	16.65	31.04
Хри / Chr	40.43	10.06	25.26	25.15	63.87	36.15	35.00	34.02	8.89	10.10	20.60	29.23
Б(б)Ф / B(b)F	50.44	8.28	29.37	31.95	72.30	47.16	37.37	37.86	9.63	12.20	25.02	34.19
Б(к)Ф / B(k)F	30.79	5.60	18.21	20.71	33.57	22.03	21.48	19.38	7.72	7.50	14.31	18.34
Б(а)П / B(a)P	44.89	6.74	25.82	30.95	76.11	44.29	44.84	39.55	12.18	10.20	22.00	35.03
И(1.2.3-с.д)П / I(1.2.3-с.д)P	59.50	10.67	35.10	46.07	105.67	80.27	60.37	56.80	21.40	18.10	41.30	53.77
Дб(а.н)А / Db(a.h)A	28.50	3.60	16.10	17.00	48.20	32.70	30.40	25.70	4.80	5.80	11.70	22.00
Б(г.н.и)П / B(g.h.i)P	60.07	7.63	33.87	44.43	94.07	67.67	58.43	51.97	16.53	17.90	36.30	48.40

Обсуждение

По данным [18, 19], индекс загрязнения атмосферного воздуха в г. Ангарске оценивается как высокий. Основными примесями, вносящими наибольший вклад в загрязнение приземных слоёв атмосферы города, являются формальдегид, бенз(а)пирен, взвешенные вещества. Концентрации бенз(а)пирена в среднем превышали ПДК_{сг} в атмосферном воздухе в 2,3 раза [19]. Наибольшая из среднемесячных концентраций бенз(а)пирена (7,9 ПДК) отмечена в районе ул. Чайковского в зимние месяцы – декабрь 2021 г.

Перенос ПАУ в составе аэрозольных частиц и выпадение вместе с атмосферными осадками приводят к их накоплению в природных средах. Исследования Suman S. и соавт [20] показали, что уровень воздействия ПАУ на человека через почву выше, чем через воздушную среду. ПАУ, выбрасываемые в атмосферу, могут поступать на поверхность почвы путём осадения и легко поглощаются твёрдыми частицами и органическим веществом почвы. По мере изменения условий окружающей среды почва может являться источником повторных выбросов в воздух различных органических загрязнений.

В РФ на данный момент существуют гигиенические нормативы ПДК, ОБУВ, ОДУ, согласно СанПиН 1.2.3685–21⁴, для бенз(а)пирена (0,000001 мг/м³ в атмосферном воздухе; 0,00015 мг/м³ в воздухе рабочей зоны; 0,00001 мг/л в воде, 20 мкг/кг в почве), нафталина (0,007/0,003 мг/м³ в атмосферном воздухе; 20 мг/м³ в воздухе рабочей зоны; 0,01 мг/л в воде), аценафтена (0,07 мг/м³ в атмосферном воздухе; 10 мг/м³ в воздухе рабочей зоны); фенантрена (0,01 мг/м³ в атмосферном воздухе; 0,8 мг/м³ в воздухе рабочей зоны); антрацена (0,01 мг/м³ в атмосферном воздухе); дибенз(а,н)антрацен (5 мкг/м³ в атмосферном воздухе), пирена (0,001 мг/м³ в атмосферном воздухе; 0,03 мг/м³ в воздухе

рабочей зоны). Превышение ПДК по бенз(а)пирену отмечалось на площадке в т. 4 (1,45 ПДК), на площадках отбора проб 1, 5, 6 и 7 обнаружены уровни бенз(а)пирена, близкие к значению ПДК (0,75–0,85 ПДК). Влияние выбросов цементного завода, автомобильного и железнодорожного транспорта проявляются в повышенном содержании пирена в т. 1 санитарно-защитной зоны и в т. 4. селитебной зоны в 43,8 и 58,2 раза соответственно относительно фоновой площадки отбора.

Как показали наши исследования в целом, суммарные содержания ПАУ варьировались по всей территории исследования в пределах от 7,5 до 319,11 мкг/кг. Наблюдаются несущественные различия в содержании ΣПАУ в почвах селитебной и санитарно-защитной зон Ангарска, но отмечаются различия по сравнению с фоном. В санитарно-защитной и селитебной зонах концентрации ΣПАУ были в 18,4–22,2 раза выше по сравнению с фоном соответственно. Концентрации ΣПАУ на отдельных участках уменьшаются следующим образом: т. 4 (319,11 мкг/кг) > т. 1 (237,09 мкг/кг) > т. 5 и т. 6 (210,43 и 210,25 мкг/кг соответственно) > т. 7 (190,09 мкг/кг) > т. 3 (160,49 мкг/кг) > т. 10 (116,76 мкг/кг) > т. 8 (64,83 мкг/кг) > т. 9 (59,11 мкг/кг) > т. 2 (38,93 мкг/кг). Σ канцерогенных ПАУ в селитебной и санитарно-защитных зон в среднем была в 25,1–31,2 раза выше, чем на фоновой площадке. По сумме канцерогенных ПАУ выделяются: в санитарно-защитной зоне т. 1 (118,52 мкг/кг) и в селитебной зоне т. 4–7 (100,28–178,01 мкг/кг).

Результаты расчётов коэффициентов концентрации К_c представлены в табл. 2. Наибольшие показатели К_c отмечались по: нафталину в т. 7 (6,40); аценафтилену – в т. 4 (104,86) и т. 1 (106,86); аценафтenu – в т. 7 (28,4) и т. 4 (29,6); флуарену – в т. 7 (15,53); фенантрenu – в т. 6 (10,11) и т. 1 (10,96); антрацену – в т. 6 (30,13) и т. 1 (32,75); флуорантену – в т. 1 (30,81) и т. 4 (34,82); пирену – в т. 1 (43,88) и т. 4 (58,22); бенз(а)антрацену – в т. 4 (61,52); хризену – в т. 4 (63,87); бенз(б)флуорантену – в т. 4 (72,3); бенз(к)-флуорантену – в т. 1 (30,79) и т. 4 (33,57); бенз(а)пирену – в т. 4 (76,11); индено(1,2,3-сд)пирену – в т. 5 (80,27) и т. 4

⁴ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2021.

(105,67); дибенз(а,һ)перилену – в т. 4 (48,2); по бенз(г,һ,и) перилену – в т. 5 (67,67) и т. 4 (94,07). Анализ соотношения средних значений каждого полиарена к фоновому их содержанию в изученных пробах почвы (K_c) показал, что в почвенном покрове урбанизированной территории г. Ангарска отмечено накопление всех исследуемых ПАУ.

Выполненный корреляционный анализ между бенз(а)пиреном и другими ПАУ в функциональных зонах позволил установить среднюю и сильные корреляции ($p < 0,05$) между бенз(а)пиреном и аценафтиленом ($r_p = 0,865$), аценафтенном ($r_p = 0,842$), флуореном ($r_p = 0,688$), фенантеном ($r_p = 0,849$), антраценом ($r_p = 0,785$), флуорантеном ($r_p = 0,963$), пиреном ($r_p = 0,985$), бенз(а)антраценом ($r_p = 0,975$), хризеном ($r_p = 0,993$), бенз(б)флуорантеном ($r_p = 0,984$), бенз(к)флуорантеном ($r_p = 0,944$), индено(1,2,3-с,д)пиреном ($r_p = 0,976$), дибенз(а,һ)антраценом ($r_p = 0,991$) и бенз(г,һ,и)периленом ($r_p = 0,988$), что отражает поступление поллютантов в окружающую среду совместно из одних источников, например, предприятий теплоэнергетики, химической промышленности [18].

Заключение

Изучение негативных последствий антропогенного и техногенного давления является одной из ключевых задач экологии городов и оценки воздействия на окружающую среду. В результате работы в пробах почв исследованных функциональных зон городской застройки наблюдается однородный состав ПАУ и преобладание 4–6-ядерных структур, на долю которых приходится 87,3% от ΣПАУ. Доля данных полиаренов в общей ΣПАУ в селитебной зоне увеличивается в 1,3 раза по сравнению с фоном, что указывает на возможность их техногенного происхождения. В то же время доля 2–3-ядерных структур составила 12,83%. Для показателей ПАУ и НП характерен разброс данных и, как следствие, большое влияние локального фактора на формирование загрязнения почвенного покрова.

Анализ соотношений концентраций индивидуальных ПАУ в образцах почвы указывает, что источниками ПАУ является как воздействие продуктов переработки нефти, так и загрязнение от транспортных средств (дизельное топливо и бензин), предприятия теплоэнергетики.

Литература

(п.п. 3, 4, 6–12, 14, 16, 17, 20 см. References)

1. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. *Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды*. СПб.: Профессинал; 2014.
2. Валеев Т.К., Рахманин Ю.А., Сулейманов Р.А., Малышева А.Г., Гимранова Г.Г., Рахматуллин Н.Р. и др. Характеристика риска для здоровья населения нефтедобывающего региона в связи с факторами среды обитания. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1310–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1310-1316> <https://elibrary.ru/nsedml>
3. Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В. Оценка содержания загрязнений в аккумулирующих природных средах в условиях техногенной нагрузки. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(10): 1049–54. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1049-1054> <https://elibrary.ru/atojrh>
4. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор). *Почвоведение*. 2013; (7): 788–802. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13070125> <https://elibrary.ru/qcmotb>
5. Майстренко В.Н., Ключев Н.А. *Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2017.
6. Ефимова Н.В., Мильникова И.В., Кузьмина М.В., Лисецкая Л.Г., Лозневая Е.Е. Оценка канцерогенного риска для населения экологически неблагоприятных территорий Иркутской области. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(2): 117–21. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-2-117-121> <https://elibrary.ru/ulgvpn>
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2021 году». Ижевск: Принт; 2022.

References

1. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A. *Physico-Chemical Studies and Methods of Control of Substances in Environmental Health [Fiziko-khimicheskie issledovaniya i metody kontrolya veshchestv v gigiyene okruzhayushchey sredy]*. St. Petersburg: Professional; 2014. (in Russian)
2. Valeev T.K., Rakhmanin Yu.A., Suleymanov R.A., Malysheva A.G., Gimranova G.G., Rakhmatullin N.R., et al. Characteristics of the risk to the health of the population of the oil-producing region associated with environmental factors. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1310–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1310-1316> <https://elibrary.ru/nsedml> (in Russian)
3. Wu X., Liu H., Yuan Z., Wang S., Chen A., He B. Concentration, exchange and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil, air and tree bark from the Middle-Lower Yangtze Plain, China. *Atmos. Pollut. Res.* 2019; 10(4): 1276–83. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2019.02.011>
4. Zhang Y., Peng C., Guo Z., Xiao X., Xiao R. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils of China: Distribution, influencing factors, health risk and regression prediction. *Environ. Pollut.* 2019; 254(Pt. A): 112930. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.098>
5. Zhurba O.M., Alekseenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V. Assessment of the content of pollutants in accumulating natural environments under conditions of anthropogenic load. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(10): 1049–54. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1049-1054> <https://elibrary.ru/atojrh> (in Russian)
6. Li Q., Wu J., Zhou J., Sakiev K., Hofmann D. Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in soils around two typical lakes in the western Tian Shan Mountains (Kyrgyzstan, Central Asia): Local burden or global distillation? *Ecol. Indic.* 2020; 108: 105749. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105749>
7. Akter R., Akbor M.A., Bakar Siddique M.A., Shammi M., Rahman M.M. Occurrence and health risks assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust and soil samples at Dhaka city, Bangladesh. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2023; 7: 100304. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100304>
8. Zhang Y., Chen H., Liu C., Chen R., Wang Y., Teng Y. Developing an integrated framework for source apportionment and source-specific health risk assessment of PAHs in soils: Application to a typical cold region in China. *J. Hazard. Materials*. 2021; 415: 125730. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125730>
9. Yang W., Lang Y., Li G. Cancer risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soils from Jiaozhou Bay wetland. *Chemosphere*. 2014; 112: 289–95. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.074>
10. Yang L., Zhang H., Zhang X., Xing W., Wang Y., Bai P., et al. Exposure to atmospheric particulate matter-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and their health effects: a review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18(4): 2177. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042177>
11. Minkina T., Sushkova S., Konstantinova E., Kumar Yadav B., Mandzhieva S., Konstantinov A., et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils within the different land use: a case study of Tyumen, Russia. *Polycycl. Aromat. Compd.* 2020; 40(4): 1251–65. <https://doi.org/10.1080/10406638.2018.1540997>
12. Desalme D., Binet P., Chiapusio G. Challenges in tracing the fate and effects of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbon deposition in vascular plants. *Environ. Sci. Technol.* 2013; 47(9): 3967–81. <https://doi.org/10.1021/es304964b>
13. Tsi bart A.S., Gennadiev A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: sources, behavior, and indication significance (a review). *Pochvovedenie*. 2013; (7): 788–802. <https://doi.org/10.1134/S1064229313070090> <https://elibrary.ru/rfjcd> (in Russian)
14. Chakraborty P., Selvaraj S., Nakamura M., Prithiviraj B., Ko S., Loganathan B. E-waste and associated environmental contamination in the Asia/Pacific region (part 2): a case study of dioxins and furans in E-waste recycling/dump sites in India. *ACS Symposium Series*. 2016; 1243: 139–54. <https://doi.org/10.1021/BK-2016-1243.CH007>
15. Maystrenko V.N., Klyuev N.A. *Environmental and Analytical Monitoring of Persistent Organic Pollutants [Ekologo-analiticheskiy monitoring stoykikh organicheskikh zagryazniteley]*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2017. (in Russian)
16. Kibblewhite M.G. Contamination of agricultural soil by urban and peri-urban highways: An overlooked priority? *Environ. Pollut.* 2018; 242(Pt. B): 1331–6. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.08.00>
17. Luo Q., Gu L., Shan Y., Wang H., Sun L. Distribution, source apportionment, and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils from Shenyang, China. *Environ. Geochem. Health*. 2020; 42(7): 1817–32. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00451-y>
18. Efimova N.V., Myl'nikova I.V., Kuz'mina M.V., Lisetskaya L.G., Loznevaya E.E. Carcinogenic risk assessment in population living in the ecologically problematic areas of Irkutsk region. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(2): 117–21. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-2-117-121> <https://elibrary.ru/ulgvpn> (in Russian)
19. State report «On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2021». Izhevsk: Print; 2022. (in Russian)
20. Suman S., Sinha A., Tarafdar A. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentration levels, pattern, source identification and soil toxicity assessment in urban traffic soil of Dhanbad, India. *Sci. Total Environ.* 2016; 545–546: 353–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.061>