

Читать
онлайн
Read
online

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

Оценка содержания тяжёлых металлов и полициклических ароматических углеводородов в почве г. Свирска Иркутской области

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

Введение. Одной из экологических проблем является загрязнение токсикантами почвенного покрова. Почва выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений, ей отведена важнейшая роль в жизни общества.

Цель исследования – дать оценку количественного содержания подвижных форм тяжёлых металлов и полициклических ароматических углеводородов в почве на урбанизированной территории Иркутской области на примере г. Свирска.

Материалы и методы. Проведены исследования содержания тяжёлых металлов и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в пробах почвы г. Свирска, отобранных в различных частях города (многоэтажная застройка, частный сектор, промышленная зона, лесопарковая зона) и в фоновой точке за городом. Определение тяжёлых металлов проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии, ПАУ – методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

Результаты. Уровни содержания металлов в образцах почвы составляли 2,9–366,7 мг/кг для свинца, 0,82–3,1 мг/кг для меди, 0,2–36,0 мг/кг для цинка, 3,5–67,9 мг/кг для железа, 65,5–149,7 мг/кг для марганца, 0,12–4,8 мг/кг для хрома и 0,04–0,28 мг/кг для кадмия. Содержание бенз(а)пирена и суммы ПАУ находилось в пределах 1,1–387,3 и 61–4600 мкг/кг соответственно.

Ограничения исследования. Ограничения исследования связаны с необходимостью дальнейшего изучения содержания данных загрязнителей в биосферах.

Заключение. Установлено превышение предельно допустимых значений по свинцу в 90,9% проб (максимальные превышения составили 52,4–61,1 ПДК), в 72,7% проб – по бенз(а)пирену (максимальные превышения – 9,1–19,4 ПДК), а также единичные превышения по меди (1,03 ПДК) и цинку (1,3 и 1,6 ПДК).

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды; тяжёлые металлы; почва; загрязнение

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

Для цитирования: Меринов А.В., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Журба О.М. Оценка содержания тяжёлых металлов и полициклических ароматических углеводородов в почве г. Свирска Иркутской области. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 1018–1022. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1018-1022>. <https://www.elibrary.ru/dievth>

Для корреспонденции: Меринов Алексей Владимирович, канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск. E-mail: alek-merinov@mail.ru

Участие авторов: Меринов А.В. – сбор данных литературы, проведение исследований, обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста; Алексеенко А.Н. – сбор и обработка материала, проведение исследований; Шаяхметов С.Ф. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Журба О.М. – редактирование, обработка материала. 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 проведена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 06.06.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликована: 30.09.2022

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

Assessment of the content of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil of the city of Svirsk, Irkutsk region

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation

Introduction. One of the environmental problems is the contamination of soil cover with toxicants. The soil performs the functions of a biological absorber, destroyer and neutralizer of various contaminants, it has the most important role in the life of society.

The aim of the study is to assess the quantitative content of mobile forms of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil in the urbanized territory of the Irkutsk region on the example of the city of Svirsk.

Materials and methods. Content of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soil of Svirsk, selected in various parts of the city (multi-storey buildings, private sector, industrial zone, forest park zone) and in the background point outside the city was studied. The determination of heavy metals was carried out by atomic absorption spectrometry, PAH - by gas chromatography-mass spectrometry.

Results. The levels of metals in the soil samples varied within 2.9–366.7 mg/kg for lead; 0.82–3.1 mg/kg for copper; 0.2–36.0 mg/kg for zinc; 3.5–67.9 mg/kg for iron; 65.5–149.7 mg/kg for manganese; 0.12–4.8 mg/kg for chromium and 0.04–0.28 mg/kg for cadmium. The content of benzo(a)pyrene and the amount of PAHs ranged from 1.1 to 387.3 and from 61 to 4600 µg/kg, respectively.

Limitations. The limitations of the study are related to the need for further study of the content of these pollutants in biological media

Conclusion. Maximum allowable values were found to be exceeded in 90.9% of samples for lead (maximum excesses were 52.4–61.1 MPC), in 72.7% of samples for benzo(a)pyrene (maximum excesses were 9.1–19.4 MPC), as well as single excesses for copper (1.03 MPC) and zinc (1.3 and 1.6 MPC).

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons; heavy metals; soil; pollution

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

For citation: Merinov A.V., Alekseenko A.N., Shayakhmetov S.F., Zhurba O.M. Assessment of the content of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil of the city of Svirsk, Irkutsk region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 1018–1022. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1018-1022>. <https://www.elibrary.ru/dievth> (In Russian)

For correspondence: Alexey V. Merinov, MD, PhD, researcher, Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation. E-mail: alek-merinov@mail.ru

Information about authors:

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

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

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

Acknowledgment. The work was carried out within the funds allocated to fulfill the state task of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: June 6, 2022 / Accepted: August 04, 2022 / Published: September 30, 2022

Введение

Одним из определяющих факторов здоровья населения является состояние окружающей природной среды. Среди экологических проблем ведущее место занимает загрязнение токсикантами почвенного покрова. Почва выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений, ей отведена важная роль в жизни общества. Почва представляет собой источник продовольствия, обеспечивающий 95–97% продовольственных ресурсов для населения. В организм человека попавшие в почву химические вещества поступают главным образом через контактирующие с ней среды (воду, воздух) и растения [1]. Химическое загрязнение почв чаще всего происходит за счёт попадания смеси веществ в неорганической и органической формах на поверхность почвенных объектов [2].

Среди неорганических загрязнений почвенного покрова наибольшую опасность представляют тяжёлые металлы (ТМ), многие из которых способны менять валентность и принимать участие в окислительно-восстановительных процессах. В настоящее время внимание к токсикантам экологического происхождения значительно усилилось вследствие способности металлов накапливаться в организме [3]. ТМ влияют практически на все системы организма, оказывая токсическое, аллергическое, канцерогенное, гонадотропное действие [4, 5]. Среди органических загрязнений почвенного покрова особое место занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [3], обладающие высокой токсичностью, выраженной мутагенной и канцерогенной активностью [6–9].

Основные источники загрязнения атмосферы в г. Свирске – предприятия теплоэнергетики, лесной, деревообрабатывающей промышленности, аккумуляторное производ-

ство, производство металлических изделий, автомобильный и железнодорожный транспорт, печное отопление [10, 11].

Цель исследования – дать оценку количественного содержания подвижных форм ТМ и ПАУ в почве на урбанизированной территории Иркутской области на примере г. Свирска.

Материалы и методы

Для оценки уровня загрязнения почвенного покрова г. Свирска отбор проб осуществляли в следующих зонах: многоэтажная застройка (точки 9 и 11), частный сектор с печным отоплением (точки 2, 3, 10), промышленная зона (точки 4, 5, 6, 7), лесопарковая зона (точка 8), фоновая зона за городом (точка 1).

Отбор проб почвы проводили в соответствии с требованиями к отбору проб почв¹.

Количественное определение ПАУ в образцах проб почвы осуществляли с помощью методики, заключающейся в предварительном извлечении ПАУ в ацетонитрил в ультразвуке и последующей дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракции из надосадочного раствора в трихлорметан [12].

Анализ смеси ПАУ в трихлорметане осуществляли на капиллярной колонке НТ-8 (30 м; 0,25 мм; 0,25 мкм) на газовом хроматографе Agilent 7890A с масс-селективным детектированием методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) в следующих условиях (табл. 1).

Идентификацию ПАУ на масс-хроматограммах проводили по времени удерживания и молекулярному иону. Количественное определение ПАУ в экстракте (нг/мл) осуществляли

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

Таблица 1 / Table 1

ГХ-МС условия определения ПАУ в почве

GC-MS conditions for determining polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soil

Условия анализа Analysis conditions	Характеристики Specifications
Газ-носитель Carrier gas	Гелий газообразный высокой чистоты марки 6.0, объёмная доля гелия не менее 99.9999% об. Helium gas of high purity grade 6.0, the volume fraction of helium is not less than 99.9999% vol.
Режим ввода пробы / Sample injection mode	Объём пробы 1 мкл, без деления потока, 0.5 мин / Sample volume 1 µl, splitless, 0.5 min
Температура инжектора Injector temperature	300 °C
Объёмная скорость газа-носителя через колонку Volumetric velocity of the carrier gas through the column	1.3 мл/мин (ml/min)
Температурный режим термостата колонки Temperature mode of the column thermostat	Начальная температура 80 °C 1 мин, далее подъём со скоростью 20 °C/мин до 320 °C в течение 9 мин The initial temperature is 80 °C for 1 min, then rise at a speed of 20 °C/min to 320 °C for 9 min
Режим работы масс-спектрометра Operating mode of the mass spectrometer	Температура интерфейса: 320 °C. Температура источника ионов: 230 °C. Температура квадруполя: 150 °C. Сбор данных: SIM Interface temperature: 320 °C. Ion source temperature: 230 °C. Quadrupole temperature: 150 °C. Data collection: SIM
Общее время анализа / Total analysis time	22 мин/min

Таблица 2 / Table 2

Содержание подвижной формы тяжёлых металлов, бенз(а)пирена и суммы ПАУ в почвах
The content of the mobile form of heavy metals, benz(a)pyrene (B(a)P) and the amount of PAHs in soils

Зона отбора Sampling zones	Точка отбора Selection point	Металлы, мг/кг Metals, mg/kg							Б(а)П, мкг/кг B(a)P, µg/kg	Сумма ПАУ, мкг/кг Amount of PAHs, µg/kg
		Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd		
Фоновая / Background	1	7.9	1.3	0.2	3.5	65.5	0.12	0.04	1.1	91.32
Многоэтажная застройка Multi-storey buildings	9	2.9	3.1	1.0	11.1	108.4	2.5	0.04	1.1	69.71
	11	10.3	0.82	2.4	5.7	71.4	4.8	0.1	25.8	316.87
Лесопарковая зона Forest park area	8	18.0	1.4	3.6	5.1	93.0	1.8	0.06	14.4	257.78
Частный сектор с печным отоплением Private sector with stove heating	2	37.8	1.7	12.2	6.0	132.4	0.26	0.12	281.5	3620.30
	3	23.6	1.3	7.8	7.0	94.9	0.48	0.06	37.8	553.70
	10	13.0	1.2	30.4	14.0	148.3	3.2	0.12	181.5	2393.50
Промышленная зона Industrial zone	4	366.7	1.4	9.0	9.5	136.1	0.94	0.14	387.3	4605.70
	5	26.9	2.1	5.8	9.2	75.5	1.4	0.14	79.3	1285.60
	6	314.6	1.7	36.0	67.9	77.2	1.6	0.28	195.5	3995.10
	7	17.9	0.98	10.2	10.2	149.7	1.7	0.12	208.8	3036.50
ПДК MPC		6.0 мг/кг (mg/kg)	3.0 мг/кг (mg/kg)	23.0 мг/кг (mg/kg)	—	—	—	—	20 мкг/кг (µg/kg)	—

по смесям 16 ПАУ (нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен и бенз(к)флуорантен в виде их суммы, бенз(а)пирен, индено(123-с,д)пирен, дибенз(а,г)антрацен и бенз(г,и,и)перилен) в трихлорметане.

Подготовку проб и анализ на содержание подвижных форм металлов – свинца (Pb), меди (Cu), цинка (Zn), железа (Fe), марганца (Mn), хрома (Cr), кадмия (Cd) – в почве осуществляли согласно ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.78-2013² с использованием двойной атомно-абсорбционной системы AA DUO Agilent 240FS/240Z/UltrAAsystem (Agilent Technologies, США).

Статистическую обработку проводили с применением программ Microsoft Excel и программного обеспечения Jamovi (version 2.3.2). Корреляцию рассчитывали с помощью коэффициента Спирмена.

Результаты

Результаты содержания металлов, бенз(а)пирена и суммарного содержания ПАУ представлены в табл. 2.

Уровни металлов в образцах почвы находились в пределах 2,9–366,7 мг/кг для свинца, 0,82–3,1 мг/кг для меди, 0,2–36,0 мг/кг для цинка, 3,5–67,9 мг/кг для железа, 65,5–149,7 мг/кг для марганца, 0,12–4,8 мг/кг для хрома и 0,04–0,28 мг/кг для кадмия. Наибольшие концентрации отмечались для свинца – в промышленной зоне в точках 4 (366,7 мг/кг) и 6 (314,6 мг/кг); по меди – в зоне многоэтажной застройки в точке 9 (3,1 мг/кг); по цинку – в промышленном районе в точке 6 (36,0 мг/кг) и в частном секторе в точке 10 (30,4 мг/кг); по железу – в промышленной зоне в точке 6 (67,9 мг/кг); по марганцу – в частном секторе в точках 2 (132,4 мг/кг) и 10 (148,3 мг/кг), в промышленной зоне в точках 4 (136,1 мг/кг) и 7 (149,7 мг/кг); по хрому – в зоне с многоэтажной застройкой в точке 11 (4,8 мг/кг); по кадмию – в промышленном районе в точке 6 (0,28 мг/кг).

² ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.78–2013. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли подвижных форм металлов: меди, цинка, свинца, кадмия, марганца, никеля, кобальта, хрома в пробах почв, грунтов, донных отложений, осадков сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; 2013.

Содержание бенз(а)пирена и суммы ПАУ находилось в пределах от 1,1–387,3 и 61–4600 мкг/кг соответственно. Наибольшие значения Б(а)П и суммы ПАУ были в районе частного сектора с печным отоплением в точках 2 (281,5 и 3620,3 мкг/кг) и 10 (181,5 и 2393,5 мкг/кг), а также в промышленной зоне в точках 4 (387,3 и 4605,7 мкг/кг), 6 (195,5 и 3995,1 мкг/кг) и 7 (208,8 и 3036,5 мкг/кг).

Обсуждение

Содержание токсикантов, накопленных за долгие годы в почвогрунтах урбанизированных территорий, являются надёжным индикатором общего загрязнения территорий городов. Как показали наши исследования, уровни содержания меди и цинка в целом не превышали установленных ПДК, за исключением точки 9 (район с многоэтажной застройкой) по меди – 1,03 ПДК и точек 6 (промышленная зона) и 10 (частный сектор) по цинку (1,6 и 1,3 ПДК соответственно). По свинцу отмечалось превышение допустимой концентрации в 90,9% проб в пределах от 1,3 до 61,1 ПДК, наибольшие превышения отмечены в точках 4 (61,1 ПДК) и 6 (52,4 ПДК) промышленной зоны города. Проведённый мониторинг загрязнения почв пункта многолетних наблюдений г. Свирска на территории двух участков многолетних наблюдений, расположенных на левом берегу р. Ангары на расстоянии 0,5 и 4,0 км южнее промплощадки, также выявил высокие уровни содержания свинца (среднее содержание составляло 36,0–55,3 ПДК и 10,3–10,7 ПДК) [13, 14].

По бенз(а)пирену превышение ПДК отмечалось в 72,7% проб. Наибольшие превышения наблюдались в точках 2 (14,1 ПДК) и 10 (9,1 ПДК) частного сектора с печным отоплением и в точках 4 (19,4 ПДК), 6 (9,8 ПДК) и 7 (10,4 ПДК) промышленной зоны города. Данные по исследованию атмосферного воздуха г. Свирска также свидетельствуют о высоком уровне содержания бенз(а)пирена: средняя концентрация поллютанта за год превышала ПДК в 14,5–14,9 раза [10, 15].

Соотношение уровней поллютантов в отобранных точках по сравнению с фоновыми концентрациями представлены в табл. 3. Наибольшие превышения фоновых значений составили по свинцу 39,8 и 46,4 раза (точки 4 и 6), по меди – 2,4 раза (точка 9), по цинку – 152,0 и 180,0 раза (точки 6 и 10), по железу – 19,4 раза (точка 6), по марган-

Таблица 3 / Table 3

Соотношение уровней поллютантов в точках отбора с фоном
The ratio of pollutant levels at sampling points to the background

Зона отбора Sampling zones	Точка отбора Selection point	Металлы, мг/кг Metals, mg/kg							Б(а)П B(a)P	Сумма ПАУ Amount of PAHs
		Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd		
Многоэтажная застройка Multi-storey buildings	9	0.4	2.4	5.0	3.2	1.7	20.8	1.0	1.0	0.8
	11	1.3	0.6	12.0	1.6	1.1	40.0	2.5	23.5	3.5
Лесопарковая зона Forest park area	8	2.3	1.1	18.0	1.5	1.4	15.0	1.5	13.1	2.8
Частный сектор с печным отоплением Private sector with stove heating	2	4.8	1.3	61.0	1.7	2.0	2.2	3.0	255.9	39.6
	3	3.0	1.0	39.0	2.0	1.4	4.0	1.5	34.4	6.1
	10	1.6	0.9	152.0	4.0	2.3	26.7	3.0	165.0	26.2
Промышленная зона Industrial zone	4	46.4	1.1	45.0	2.7	2.1	7.8	3.5	352.1	50.4
	5	3.4	1.6	29.0	2.6	1.2	11.7	3.5	72.1	14.1
	6	39.8	1.3	180.0	19.4	1.2	13.3	7.0	177.7	43.8
	7	2.3	0.8	51.0	2.9	2.3	14.2	3.0	189.8	33.3

цу – 2,0–2,3 раза (точки 2, 4, 7 и 10), по хрому – 40,0 раза (точка 11), по кадмию – 7,0 раза (точка 6), по бенз(а)пирену и по сумме ПАУ – 165,0–352,1 и 26,2–50,4 раза соответственно (точки 2, 4, 6, 7 и 10).

Корреляционный анализ между бенз(а)пиреном и другими ПАУ (нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, сумма бенз(б,к)флуорантенов, индено(123-с,д)пирен, дибенз(а,г,и)антрацен и бенз(г,и,п)перилен) позволил установить среднюю, сильные и очень сильные корреляции ($p < 0,05$) между бенз(а)пиреном и нафталином ($r_s = 0,697$), аценафтиленом ($r_s = 0,897$), аценафтенном ($r_s = 0,943$), флуореном ($r_s = 0,941$), фенантеном ($r_s = 0,925$), антраценом ($r_s = 0,909$), флуорантеном ($r_s = 0,943$), пиреном ($r_s = 0,970$), бенз(а)антраценом ($r_s = 0,989$), хризеном ($r_s = 0,989$), суммой бенз(б,к)флуорантенов ($r_s = 0,989$), индено(123-с,д)пиренов ($r_s = 0,970$) и бенз(г,и,п)периленом ($r_s = 0,951$). Можно предположить, что данные вещества попадают в почву совместно из одних источников, например, из выбросов ТЭЦ или печного отопления.

Следует отметить, что загрязнение почвы на территории г. Свирска в первую очередь связано с техногенными выбросами ТЭЦ, аккумуляторного завода и печного отопления индивидуальных частных домов. Дальнейшие мониторинговые исследования загрязнения почвы имеют большое значение для сохранения здоровья населения и перспективы развития производственного потенциала города.

Заключение

Содержание токсикантов, накопленных в почвогрунтах урбанизированных территорий, является надёжным индикатором общего загрязнения территорий городов. В результате исследования почв урбанизированной территории (на примере г. Свирска) установлено превышение предельно допустимых значений в 90,9% проб по свинцу (максимальные превышения составили 52,4–61,1 ПДК), в 72,7% проб – по бенз(а)пирену (максимальные превышения – 9,1–19,4 ПДК), а также единичные превышения по меди (1,03 ПДК) и цинку (1,3 и 1,6 ПДК).

Литература

1. Дмитриева Л.Ю., Мусихина Е.А. Характер зависимости медико-демографических показателей от степени загрязнения почвенного покрова. *Успехи современного естествознания*. 2009; (11): 50–2.
2. Сушкова С.Н., Яковлева Е.В., Минкина Т.М., Габов Д.Н., Антоненко Е.М., Дудникова Т.С. и др. Накопление бенз[а]пирена в растениях разных видов и органогеомном горизонте почв степных фитоценозов при техногенном загрязнении. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020; 331(12): 200–14. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/12/2953>
3. Горяшкина З.В., Щербачева Л.Ф., Цомбуева Б.В. Оценка загрязнения почвенного покрова г. Элиста. *Успехи современного естествознания*. 2017; (3): 75–9.
4. Теплая А.Г. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы). *Астраханский вестник экологического образования*. 2013; (1): 182–96.
5. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. *Микроэлементы человека*. М.: Медицина; 1991.
6. 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>
7. Ifegwu O.C., Anyakora C. Polycyclic aromatic hydrocarbons: part I. Exposure. *Adv. Clin. Chem*. 2015; 72: 277–304. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.08.001>
8. Kumar B., Verma V.K., Kumar S., Sharma C.S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in residential soils from an Indian city near power plants area and assessment of health risk for human population. *Polycycl. Aromat. Compd*. 2014; 34(3): 191–213. <https://doi.org/10.1080/10406638.2014.883414>
9. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Some Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures*. Lyon; 2010.
10. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». Иркутск; 2020.
11. Ефимова Н.В., Мыльникова 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>
12. Темердашев З.А., Мусорина Т.Н., Червоная Т.А. Хромато-масс-спектрометрическое определение полициклических ароматических углеводородов в почвах и донных отложениях с применением техники дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракции. *Журнал аналитической химии*. 2020; 75(8): 702–13. <https://doi.org/10.31857/S0044450220080150>
13. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области за 2012 год». Иркутск; 2013.
14. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году». Иркутск; 2017.
15. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году». Иркутск; 2019.

References

1. Dmitrieva L.Yu., Musikhina E.A. The nature of the dependence of medical and demographic indicators on the degree of soil contamination. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2009; (11): 50–2. (in Russian)
2. Sushkova S.N., Yakovleva E.V., Minkina T.M., Gabov D.N., Antonenko E.M., Dudnikova T.S., et al. Accumulation of benzo[a]pyrene in plants of different species and organogenic horizon of soils of steppe phytocenosis under technogenic pollution. *Inzhiniring georesursov*. 2020; 331(12): 200–14. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/12/2953> (in Russian)
3. Goryashkueva Z.V., Shcherbakova L.F., Tsombueva B.V. Assessment of pollution of Soil Elista. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2017; (3): 75–9. (in Russian)
4. Teplaya A.G. Heavy metals as a factor of environmental pollution (review). *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2013; (1): 182–96. (in Russian)
5. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.C. *Human Trace Elements [Mikroelementozy cheloveka]*. Moscow: Meditsina; 1991. (in Russian)
6. 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>
7. Ifegwu O.C., Anyakora C. Polycyclic aromatic hydrocarbons: part I. Exposure. *Adv. Clin. Chem*. 2015; 72: 277–304. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.08.001>
8. Kumar B., Verma V.K., Kumar S., Sharma C.S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in residential soils from an Indian city near power plants area and assessment of health risk for human population. *Polycycl. Aromat. Compd*. 2014; 34(3): 191–213. <https://doi.org/10.1080/10406638.2014.883414>
9. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Some Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures*. Lyon; 2010.
10. State Report «On the state and environmental protection of the Irkutsk Region in 2019». Irkutsk; 2020. (in Russian)
11. Efimova N.V., Mylnikova I.V., Kuzmina M.V., Lisetskaya L.G., Lozneva 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> (in Russian)
12. Temerdashev Z.A., Musorina T.N., Chervonnaya T.A. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and bottom sediments by gas chromatography–mass spectrometry using dispersive liquid-liquid microextraction. *Zhurnal analiticheskoy khimii*. 2020; (8): 702–13. <https://doi.org/10.31857/S0044450220080150> (in Russian)
13. State Report «On the state and environmental protection of the Irkutsk Region for 2012». Irkutsk; 2013. (in Russian)
14. State Report «On the state and environmental protection of the Irkutsk Region in 2016». Irkutsk; 2017. (in Russian)
15. State Report «On the state and environmental protection of the Irkutsk Region in 2018». Irkutsk; 2019. (in Russian)