

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

Оценка загрязнения почв города Хабаровска бенз(а)пиреном

А.М. Кошельков^{1, 2}, Л.П. Майорова¹¹ Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация;² Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель. Оценка уровня загрязнения бенз(а)пиреном функциональных зон г. Хабаровска в сравнении с городами Дальнего Востока и других регионов Российской Федерации.

Материал и методы. Содержание бенз(а)пирена исследовали в поверхностном слое почвы промышленной, агро-селитебной и жилой зон Хабаровска с использованием жидкостного хроматографа с многоволновым флуоресцентным детектором Waters HPLC 2475 (Waters, США) в соответствии с МУК 4.1.1274-03. Изучено 78 проб, 48,7% которых были отобраны в жилой и 41,0% — в промышленной зоне. Оценка уровня загрязнения проведена по коэффициенту опасности и в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21. Для статистической обработки результатов применены надстройка Excel «Пакет анализа» и метод Voxplots.

Результаты. Установлено, что в 35,9% проб содержание бенз(а)пирена было ниже предела обнаружения. В 33,3% проб имело место превышение предельно допустимых концентраций (ПДК). Средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска составляет $0,07955 \pm 0,04310$ мг/кг, максимальная — 0,776 мг/кг (38,8 ПДК). В 86% проб концентрация бенз(а)пирена составляет 0,005–0,145 мг/кг, в жилых зонах 81,5% проб входят в интервал 0,005–0,215 мг/кг, в производственных — 90,5% проб вписываются в интервал 0,007–0,157 мг/кг. В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 к категории «чистая» относятся 62,8% проб, «допустимая» — 12,8%, «опасная» — 15,4%, «чрезвычайно опасная» — 9,0%. Распределение бенз(а)пирена в поверхностном слое характеризуется наличием техногенных аномалий с контрастностью значений коэффициента опасности 9,7–38,8. Наиболее загрязнённой является жилая застройка, попадающая в зону влияния крупнейших стационарных источников выбросов.

Заключение. Средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска несколько выше по сравнению с рядом городов Дальнего Востока и европейской части Российской Федерации. Сложившаяся ситуация обусловлена несовершенством градостроительных решений, не учитывающих аэрогенный привнос загрязняющих веществ и накопление их в почвах селитебной территории.

Ключевые слова: бенз(а)пирен; почвы; функциональные зоны; коэффициент опасности; категории загрязнения; г. Хабаровск.

Как цитировать:

Кошельков А.М., Майорова Л.П. Оценка загрязнения почв города Хабаровска бенз(а)пиреном // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 181–198.
DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

Рукопись получена: 26.10.2022

Рукопись одобрена: 04.04.2023

Опубликована online: 23.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

Assessment of benzo(a)pyrene soil contamination in Khabarovsk

Anton M. Koshelkov^{1, 2}, Lyudmila P. Mayorova¹

¹ Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation;

² Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IGD FEB RAS), Khabarovsk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: To assess the level of benzo(a)pyrene contamination of the functional areas of Khabarovsk in comparison with other cities of the Far East and other regions of the Russian Federation.

MATERIAL AND METHODS: Benzo(a)pyrene concentration was assessed in the surface soil layer in the industrial, agro-residential and residential areas of Khabarovsk using a liquid chromatography with a multi-wave fluorescence detector Waters HPLC 2475 (Waters, USA) in accordance with the Operations Guidelines (MUK) 4.1.1274-03. In total, 78 soil samples were studied, 48.7% and 41.0% of them were collected in residential areas and industrial areas, respectively. Assessment of the pollution level was carried out by the hazard ratio and in accordance with SanPiN (Sanitary Norms and Regulations) 1.2.3685-21. Boxplots methods in MS Excel software were used for statistical analysis of the data.

RESULTS: Benzo(a)pyrene concentration was below the detection limit in 35.9% of the samples while in 33.3% of the samples it exceeded Maximum Permissible Concentration (MPC). The average benzo(a)pyrene content in Khabarovsk soils was 0.07955 ± 0.04310 mg/kg while the highest was 0.776 mg/kg (38.8 MPC). Benzo(a)pyrene content was 0.005–0.145 mg/kg in 86% of samples, in residential areas 81.5% of samples fall within the range of 0.005–0.215 mg/kg, in industrial areas 90.5% of samples — within the range of 0.007–0.157 mg/kg. According to SanPiN (Sanitary Norms and Regulations) 1.2.3685-21, 62.8% of samples are classified as “clean”, 12.8% — “permissible”, 15.4% — “hazardous”, 9.0% — “extremely hazardous”. Benzo(a)pyrene distribution in the soil surface layer is characterized by the presence of technogenic anomalies with hazard ratios varying from 9.7 to 38.8. Residential areas located within the impact zone of the largest stationary sources of emissions have the greatest levels of pollution.

CONCLUSION: The average benzo(a)pyrene concentration in the soils of Khabarovsk is higher compared to the cities in the Far East and in the European part of the Russian Federation. This situation can be at least partly explained by poor urban planning ignoring aerogenic inflow of pollutants and their accumulation in the soil in residential areas.

Keywords: benzo(a)pyrene; soil; functional zones; hazard ratio; pollution categories; Khabarovsk.

To cite this article:

Koshelkov AM, Mayorova LP. Assessment of benzo(a)pyrene soil contamination in Khabarovsk. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):181–198. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

Received: 26.10.2022

Accepted: 04.04.2023

Published online: 23.05.2023

ОБОСНОВАНИЕ

В городах с хорошо развитой промышленностью и инфраструктурой остро стоит проблема загрязнения окружающей среды супертоксиантами, к которым относится класс полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), различающихся по числу бензольных колец и особенностям их присоединения друг к другу. Вследствие высокой канцерогенной и мутагенной активности Агентство по охране окружающей среды США (US Environmental Protection Agency, US EPA) определило 16 ПАУ как приоритетные загрязняющие вещества [1]. В России и за рубежом проводятся исследования содержания ПАУ в объектах окружающей среды, в том числе в городских почвах — главном компоненте ландшафта, депонирующем ПАУ [2–8]. В России суммарное содержание ПАУ определяли в почвах Москвы, Санкт-Петербурга, Уфы, Тюмени, исследовали содержание различного количества ПАУ в разных функциональных зонах городов. Результаты этих работ варьируют в широких пределах.

Высокая чувствительность различных организмов к бенз(а)пирену (БП) определяет использование его в качестве индикатора состояния окружающей среды для всех ПАУ [9]. В России БП подлежит обязательному контролю [10]. В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [11] предельно допустимая концентрация (ПДК) БП в почве с учётом фона (кларка) составляет 0,02 мг/кг, класс опасности первый, лимитирующий признак вредности общесанитарный. Российский норматив — более жёсткий по сравнению с нормативами Германии, Дании, Нидерландов.

Мониторинговые исследования содержания БП в почвах охватывают незначительную часть территории Российской Федерации. Наблюдения за содержанием БП в почвах фоновых площадок проводились на территории Дальневосточного федерального округа (Приморского края) в 2017–2020 гг. (концентрация БП — <0,005 мг/кг) и на территории Оренбургской области (г. Медногорск) в 2019 году (концентрация БП — 0,018 мг/кг).

Имеется ряд публикаций, характеризующих загрязнение почв БП в различных городах и регионах Российской Федерации. Значительное загрязнение почвы БП (до 5,5 ПДК) отмечено в крупных городах Красноярского края [12]. В работе [13] представлены результаты исследований на содержание БП 660 проб почв из 19 мониторинговых точек в г. Таганроге за 2013–2015 гг. Показано, что содержание БП является существенным фактором риска здоровью населения: превышение ПДК выявлено в 65,28% исследованных проб почвы при средней и максимальной концентрациях 2,45 и 38,05 ПДК соответственно. Наиболее детально исследованы почвы Москвы. В работе Г.И. Агапкиной с соавт. [6] установлено, что чуть более трети исследованных городских почв по содержанию БП классифицируются как «чистые», а около половины имеют допустимую категорию загрязнения. По данным А.Л. Чикидовой [2], в Восточном административном округе

Москвы средняя концентрация БП в почвах составляет 0,06–0,10 мг/кг, что превышает ПДК в среднем в 3–5 раз, в почвах Национального парка «Лосиный остров» — 0,005 мг/кг. В работе [14] проанализировано временное и пространственное распределение БП в почвенном покрове Москвы за 2007–2016 гг. в 2238 точках на территории 9 административных округов (данные наблюдений ГПБУ «Мосэкомониторинг»). Анализ многолетних данных показал снижение концентраций БП в 4–8 раз почти во всех округах города. Пространственная неоднородность техногенных выпадений БП на территорию города усиливается под влиянием физико-химических свойств почв (гранулометрического состава, кислотно-щелочных условий и содержания гумуса). Частота превышения ПДК за период 2007–2016 гг. снизилась более чем в 100 раз. Существенные различия между результатами ежегодного почвенного мониторинга и данными исследований других авторов могут быть обусловлены как аналитическими погрешностями, так и выбором мест опробования [14]. Изучение накопления БП в дорожной пыли разных типов дорог Москвы показало, что на крупных автодорогах превышение ПДК в почвах составило 14 раз, в центре города содержание БП в пыли дворов достигает 1,02 мг/кг (51 ПДК). Минимальный канцерогенный риск отмечен для дорог с преобладанием безостановочного движения [15]. Для городских ландшафтов Алушты установлен чрезвычайно опасный уровень загрязнения частицами PM_{10} почв почти на четверти, а дорожной пыли — на 70% территории города [16]. В работе [17] отмечено, что содержание БП в почвах и дорожной пыли превышает фоновые значения в почвах в среднем в 60 и 90 раз соответственно в Алуште, в 139 и 64 раза — в Ялте, в 260 и 89 раз — в Севастополе. Чрезвычайно опасный уровень загрязнения характерен для половины территории Севастополя, 35 и 25% городских территорий в Ялте и Алуште соответственно. Частицы PM_{10} концентрируют от 35 до 70% БП. В качестве основных источников загрязнения рассматривают выбросы автотранспорта при торможении и начале движения и продукты сгорания угля и дров при печном отоплении.

Среднее содержание БП в поверхностных слоях почвы Московской области в 2010 году в 83 раза превышало уровень в незагрязнённых фоновых почвах. Наибольший экологический риск характерен для промышленной зоны и районов расположения крупных автомагистралей. Выполнены расчёты критических нагрузок [18].

Таким образом, в большинстве опубликованных работ отмечается превышение нормативных требований по содержанию БП в почвах городских территорий. Имеет место пространственная неравномерность и приуроченность участков с повышенным содержанием БП в городских почвах к зонам влияния техногенных источников, связанных со сжиганием топлива, и автомагистралей.

Сведения о загрязнении БП почв городов Хабаровского края в доступной литературе отсутствуют.

Цель исследования. Дать оценку уровня загрязнения бенз(а)пиреном функциональных зон г. Хабаровска в сравнении с городами Дальнего Востока и других регионов Российской Федерации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Бенз(а)пирен как поллютант

Бенз(а)пирен — это полициклический углеводород состава $C_{20}H_{12}$, образующийся при воздействии высокой температуры на некоторые органические вещества. Химическое название вещества по IUPAC — 3,4-бензпирен. Синонимы — 3,4-бензопирен; 6,7-бензопирен; бензо(d,e,f)хризен; benzo[a]pyrene; benzo(a)pyrene; benzo[def]chrysene. Торговые названия — бензо[а]пирен, бенз(а)пирен. CAS — 50-32-8 [19]. По классификации МАИР относится к первой категории: канцерогенен для человека. Основной путь воздействия пероральный, наиболее поражаемые органы и системы — печень, желудочно-кишечный тракт, почки, дыхательная система (БП способен вызывать в ней необратимые изменения вплоть до образования злокачественных опухолей и возникновения мутаций). Помимо канцерогенного, бенз(а)пирен оказывает мутагенное, эмбриотоксическое, гематотоксическое и театогенное действие.

Опасность БП усугубляется тем, что он способен накапливаться в организме, подобно радиоактивным веществам.

Главное условие образования БП — температура 800–1000 °С. Соответственно, основными антропогенными источниками поступления его в окружающую среду являются промышленные выбросы от нефтеперерабатывающих, металлургических, коксохимических и иных производств, предприятий теплоэнергетики, а также наземный транспорт, авиация, водный транспорт [9].

Глобальная эмиссия БП в природную среду составляет более 20 000 т в год. [20]. Он вместе с другими ПАУ оседает на частицах сажи и смолы и на поверхности почвы. В почву БП поступает в основном с атмосферными осадками. Максимальное его содержание отмечается в поверхностных горизонтах из-за высокой сорбционной способности по отношению к БП органических веществ. В поверхностном слое почв сельских районов, находящихся вдали от индустриальных центров, содержание БП не превышает 5–8 нг/г сухой массы. В почве БП опускается вертикально вниз под влиянием гравитационных сил и распространяется вширь под действием поверхностных и капиллярных сил. Такое проникновение приводит к нарушению сложившегося геохимического баланса в экосистеме [9]. Вследствие малодоступности БП почвенным бактериям процесс его разрушения идёт очень медленно [21]. Будучи химически сравнительно устойчивым, БП может долго мигрировать из одних объектов в другие, накапливаясь в пищевых цепях.

Предпосылки загрязнения почв бенз(а)пиреном на исследуемой территории

Основными стационарными источниками загрязнения атмосферы на территории Хабаровска являются АО ННК «Хабаровский нефтеперерабатывающий завод» (ХНПЗ) и Хабаровские ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3. С учётом преобладающих направлений ветра выбросы этих предприятий могут перемещаться на достаточные расстояния за пределы промышленных зон размещения. Второстепенным фактором загрязнения почв бенз(а)пиреном на исследуемых территориях может быть транспорт, однако влияние ТЭЦ является более существенным, особенно в отопительный период.

На исследуемых территориях города большая часть почвенных группировок сильно изменена и представлена в основном техногенными грунтами, задернованными с поверхности. До освоения территории почвенный покров холмисто-увалистых возвышенных территорий был представлен бурыми отбеленными суглинисто-глинистыми почвами и в меньшей степени — бурозёмовидными суглинисто-слабощебнистыми почвами [22]. На равнинных и чаще заболоченных поверхностях городской территории (2-я надпойменная терраса р. Амур и долины малых рек) ранее формировались иловато-дерново-глеевые и иловато-торфянисто-глеевые почвы, которые впоследствии были перекрыты отвальными и привозными грунтами для различных видов строительства [22]. Общие особенности вновь формирующихся почвенных образований в пределах всей городской территории — техногенное происхождение почвообразующей породы и преимущественно суглинистый состав. Следует также отметить, что в почвенных профилях исследуемых прикопок общая мощность всех органогенных горизонтов (включая слои вымывания органического вещества) не превышает 20 см.

Отбор проб и лабораторные исследования

В ходе проведения исследований за период 2017–2020 гг. было отобрано 78 проб почв на территориях различного функционального назначения и вблизи крупнейших стационарных источников загрязнения в черте г. Хабаровска. Пробы почв и грунтов отбирали из поверхностного слоя (0,0–0,05–0,2 м) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01—2017, ГОСТ Р 58595—2019, ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03 (издание 2014 года). При отборе составлялись объединённые пробы путём смешивания точечных образцов. Для составления каждой объединённой пробы точечные образцы отбирали послойно с глубины 0–5 и 5–20 см в пяти точках одной пробной площадки размером 5×5 м. Отбор проб производили в стеклянную посуду при оптимальных погодных условиях. В ходе доставки образцов в лабораторию были приняты меры по предупреждению возможности их загрязнения.

В процессе подготовки образцов к лабораторным исследованиям их предварительно высушивали при комнатной температуре, затем измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Содержание БП в навесках определяли на жидкостном хроматографе с многоволновым флуоресцентным детектором Waters HPLC 2475 (Waters, США) в соответствии с МУК 4.1.1274-03. Используемое для лабораторных исследований оборудование Waters HPLC 2475 ежегодно поверялось (свидетельства № 017376 до 04.08.2017 г., № 061851 до 31.07.2018 г., № 112625 до 24.07.2019 г., № 021155 до 22.07.2020 г., № 093129 до 14.07.2021 г.). Погрешность всех полученных и обработанных результатов не превысила 25%, что соответствует МУК 4.1.1274-03.

Точки отбора проб, основные источники возможного загрязнения почв БП, зоны влияния объектов энергетики представлены на рис. 1.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием надстройки Excel «Пакет анализа» и метода *Boxplots* («ящик с усами», диаграмма размаха (*англ.* *box-and-whiskers diagram or plot, box plot*), который позволяет компактно изображать скошенные данные. Такой вид диаграммы в удобной форме показывает медиану, нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значение выборки и выбросы. Для визуализации данных использовали иерархическую диаграмму «Дерево». При оценке загрязнения вычисляли коэффициент экологической опасности (коэффициент опасности K_0):

$$K_0 = \frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{БП}}},$$

где C_i — фактическое содержание БП, мг/кг.

Соответствие допустимым нормам и определение степени загрязнения исследованных почв оценивали по СанПиН 1.2.3685-21 [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание БП в исследованных почвах г. Хабаровска представлено в табл. 1. Наименее загрязнёнными площадками предполагаются окраинные территории, представленные агроселитебными зонами, расположенными в Железнодорожном районе города. Буферной зоной между источниками выбросов и территориями с низкой нагрузкой с учётом сформировавшейся застройки города, как правило, являются жилые массивы. Из 78 исследованных проб 38 образцов (48,7%) отобраны в жилых зонах, 32 образца (41,0%) — в промышленных, 8 образцов (10,3%) — в агроселитебных (см. рис. 1).

В 28 точках (35,9%) концентрация БП оказалась ниже предела обнаружения (<0,005 мг/кг). Эти точки были исключены из дальнейшего анализа.

В соответствии с критерием согласия Пирсона исследуемая выборка не подчиняется нормальному закону распределения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Boxplots («ящик с усами», диаграмма размаха) построен по выборкам: общий массив данных, жилые и производственные зоны, из которых исключены точки с концентрацией БП менее 0,005 мг/кг (ниже предела обнаружения прибора) (рис. 2). Выявлено 7 выбросов, четыре из которых (57,1%) входят в интервал от 9,7 до 20,0 ПДК, 3 (42,9%) — в интервал 20,1–38,8 ПДК. На жилые зоны приходится 71,4% точек выбросов, на производственные — 28,6%. Основные характеристики метода *Boxplots*, представленные в табл. 2, показывают, что минимальное значение для всех выборок приблизительно одинаково, максимальное значение и медиана — ниже, а межквартильный размах и количество точек выбросов выше для жилых зон.

Распределение БП в поверхностном слое характеризуется наличием техногенных аномалий с контрастностью значений коэффициента опасности 9,7–38,8. Пять из семи точек выброса группируются в зоне влияния ТЭЦ-2, ХНПЗ, бывшего завода «Дальдизель» (см. рис. 1, зона 1).

В общей выборке в 86% проб концентрация БП составляет 0,005–0,145 мг/кг, в жилых зонах 81,5% проб входят в интервал 0,005–0,215 мг/кг, в производственных зонах 90,5% проб вписываются в интервал 0,007–0,157 мг/кг (рис. 3).

Сводные показатели загрязнения почв г. Хабаровска БП, приведённые в табл. 3, показали, что средняя концентрация БП в почвах Хабаровска составляет $0,07955 \pm 0,04310$; превышение ПДК выявлено в 33,33% исследованных проб; более высокий уровень загрязнения приходится на жилые зоны, находящиеся под воздействием объектов энергетики и ХНПЗ. Максимальное содержание БП отмечено в почве жилых зон и составляет 0,776 мг/кг, коэффициент опасности — 38,8.

В агроселитебной зоне максимальная концентрация составила 0,048 мг/кг, соответствующий коэффициент опасности минимален — 2,4.

В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 62,8% проб относятся к категории «чистая» (включая точки с содержанием БП ниже предела обнаружения), 12,8% — к категории «допустимая», 15,4% — «опасная», 9,0% — «чрезвычайно опасная».

Наиболее загрязнёнными являются жилые зоны, которые расположены по периметру производственных зон и непосредственно крупнейших стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и попадают в зоны их рассеивания. Для почв, отобранных в жилой зоне, характерна самая высокая доля экстремальных загрязнений: 15,8% — с категорией «опасная», 13,2% — с категорией «чрезвычайно опасная». Наибольшей долей чистых проб отличается агроселитебная зона, для которой характерно отсутствие проб с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная» (рис. 4).

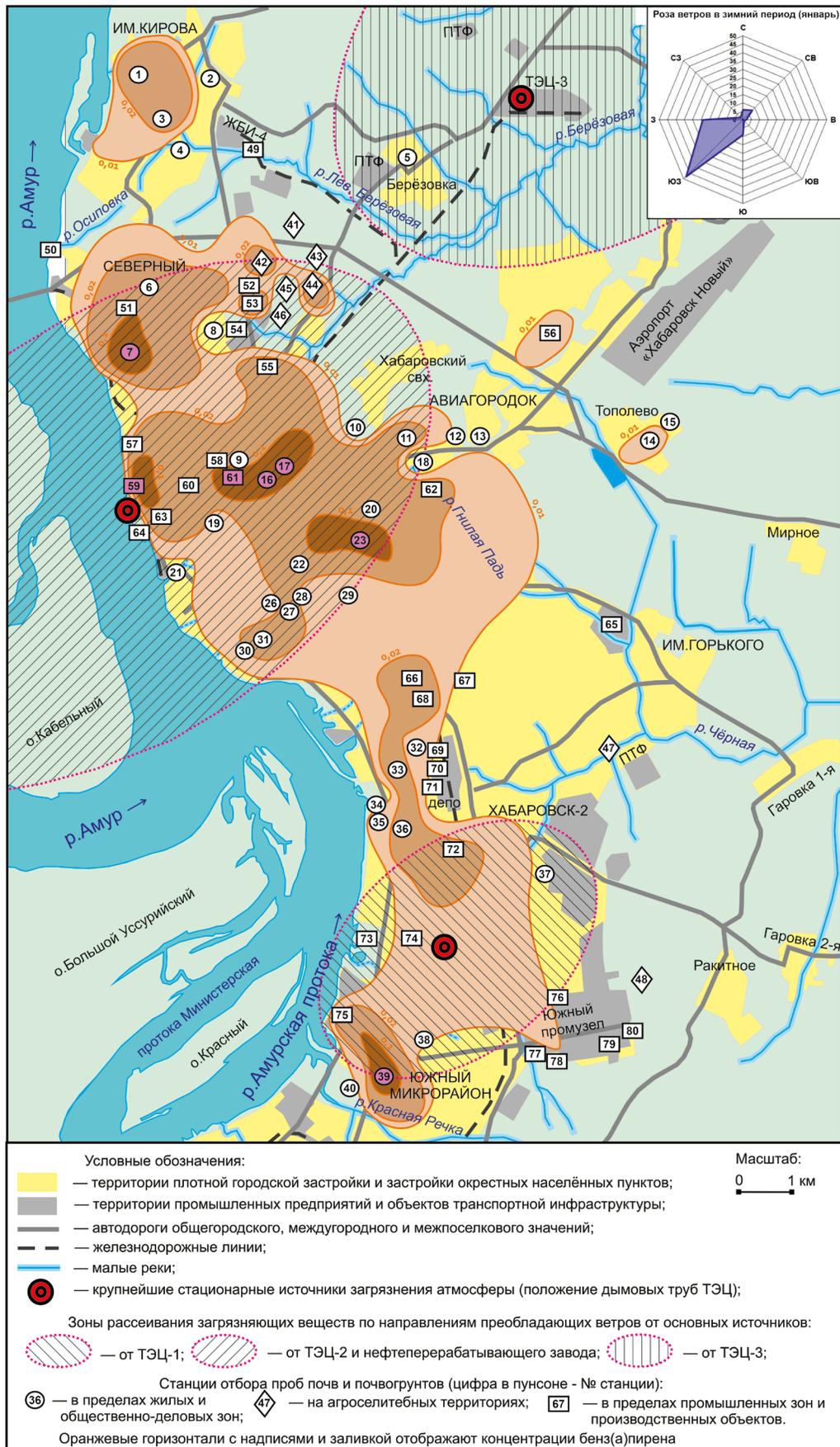


Рис. 1. Схема расположения точек отбора почв для исследования содержания бенз(а)пирена.
Fig. 1. Map of soil sampling sites for benzo(a)pyrene concentration assessment.

Таблица 1. Загрязнение почв бенз(а)пиреном на территории города Хабаровска, мг/кг**Table 1.** Contamination of soils with benzo(a)pyrene in Khabarovsk, mg/kg

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
Жилые зоны Residential areas					
1	Краснофлотский	N48°34'29,2641" E135°02'10,1412"	0,044±0,011	2,2	Опасная
2	Краснофлотский	N48°34'32,6737" E135°03'46,0884"	<0,005	н.п.о.	Чистая
3	Краснофлотский	N48°33'42,8662" E135°02'36,1082"	0,026±0,006	1,3	Опасная
4	Краснофлотский	N48°33'25,1618" E135°02'39,7588"	<0,005	н.п.о.	Чистая
5	Краснофлотский	N48°33'38,8595" E135°06'49,5789"	0,005±0,001	0,25	Чистая
6	Краснофлотский	N48°32'10,8806" E135°02'05,6536"	0,031±0,009	1,55	Допустимая*
7	Краснофлотский	N48°31'19,2659" E135°01'51,5716"	0,399±0,099	19,95	Чрезвычайно опасная
8	Краснофлотский	N48°31'43,5686" E135°03'23,3393"	0,005±0,001	0,25	Чистая
9	Железнодорожный	N48°30'11,4635" E135°03'57,6235"	0,010±0,002	0,5	Чистая
10	Железнодорожный	N48°30'34,8896" E135°05'33,3039"	<0,005	н.п.о.	Чистая
11	Железнодорожный	N48°30'23,2363" E135°06'31,9020"	0,022±0,005	1,1	Опасная
12	Железнодорожный	N48°30'24,2298" E135°07'10,1457"	0,009±0,002	0,45	Чистая
13	Железнодорожный	N48°30'23,4199" E135°07'55,5292"	<0,005	н.п.о.	Чистая
14	Железнодорожный	N48°30'25,5867" E135°10'40,2959"	0,013±0,003	0,65	Чистая
15	Железнодорожный	N48°30'38,2135" E135°10'37,8439"	<0,005	н.п.о.	Чистая
16	Железнодорожный	N48°30'04,6139" E135°04'15,3352"	0,776±0,128	38,8	Чрезвычайно опасная
17	Железнодорожный	N48°30'11,0554" E135°04'26,3468"	0,276±0,055	13,8	Чрезвычайно опасная
18	Железнодорожный	N48°30'14,6625" E135°06'37,7863"	<0,005	н.п.о.	Чистая
19	Кировский	N48°29'32,5748" E135°03'30,7702"	<0,005	н.п.о.	Чистая
20	Железнодорожный	N48°29'44,4384" E135°05'52,9588"	0,014±0,003	0,7	Чистая
21	Кировский	N48°29'02,3449" E135°02'43,6547"	<0,005	н.п.о.	Чистая

Продолжение табл. 1 | Continuation of the Table 1

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
22	Центральный	N48°29'10,3404" E135°04'48,9238"	0,078±0,006	3,9	Опасная
23	Центральный	N48°29'25,9666" E135°05'49,6353"	0,280±0,055	14,0	Чрезвычайно опасная
26	Центральный	N48°28'42,2957" E135°04'14,4991"	<0,005	н.п.о.	Чистая
27	Центральный	N48°28'38,4408" E135°04'53,2745"	0,042±0,009	2,1	Опасная
28	Центральный	N48°29'04,2536" E135°04'14,3212"	0,009±0,002	0,45	Чистая
29	Центральный	N48°28'44,9519" E135°05'45,9824"	0,0135±0,0030	0,675	Чистая
30	Центральный	N48°28'08,3218" E135°03'55,5015"	0,0085±0,0020	0,425	Чистая
31	Центральный	N48°28'16,9187" E135°04'21,6359"	0,038±0,009	1,9	Допустимая*
32	Индустриальный	N48°27'14,8732" E135°06'43,7348"	0,010±0,002	0,5	Чистая
33	Индустриальный	N48°26'57,8553" E135°06'11,1170"	0,020±0,005	1,0	Допустимая*
34	Индустриальный	N48°26'38,5250" E135°06'01,4480"	<0,005	н.п.о.	Чистая
35	Индустриальный	N48°26'25,5587" E135°06'01,5791"	0,0125±0,003	0,625	Чистая
36	Индустриальный	N48°26'15,6567" E135°06'22,1694"	0,067±0,017	3,35	Опасная
37	Железнодорожный	N48°25'40,8764" E135°08'45,0246"	<0,005	н.п.о.	Чистая
38	Индустриальный	N48°23'51,4803" E135°06'28,2383"	0,009±0,002	0,45	Чистая
39	Индустриальный	N48°23'22,7287" E135°05'55,8409"	0,4026±0,0990	20,13	Чрезвычайно опасная
40	Индустриальный	N48°23'11,1049" E135°05'29,5509"	0,007±0,001	0,35	Чистая
Агрореселителные зоны Agro-residential areas					
41	Железнодорожный	N48°32'53,4416" E135°05'21,0136"	<0,005	н.п.о.	Чистая
42	Железнодорожный	N48°32'35,9002" E135°04'08,8643"	0,048±0,010	2,4	Опасная
43	Железнодорожный	N48°32'25,6929" E135°05'26,4697"	<0,005	н.п.о.	Чистая
44	Железнодорожный	N48°32'15,6386" E135°05'28,1692"	0,030±0,007	1,5	Допустимая*

Продолжение табл. 1 | Continuation of the Table 1

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
45	Железнодорожный	N48°32'01,8643" E135°04'53,2919"	<0,005	н.п.о.	Чистая
46	Железнодорожный	N48°31'53,5530" E135°04'52,2876"	<0,005	н.п.о.	Чистая
47	Железнодорожный	N48°26'54,8679" E135°09'56,3946"	<0,005	н.п.о.	Чистая
48	Железнодорожный	N48°24'48,6371" E135°10'09,1043"	<0,005	н.п.о.	Чистая
Производственные зоны Industrial areas					
49	Краснофлотский	N48°33'24,8779" E135°05'01,9338"	<0,005	н.п.о.	Чистая
50	Краснофлотский	N48°32'38,3997" E135°00'51,0709"	0,010±0,002	0,5	Чистая
51	Краснофлотский	N48°32'08,9326" E135°01'41,2275"	0,097±0,020	4,85	Опасная
52	Железнодорожный	N48°32'26,9640" E135°04'13,7764"	0,0085±0,0020	0,425	Чистая
53	Железнодорожный	N48°32'13,0950" E135°04'10,3866"	0,0357±0,0080	1,785	Допустимая*
54	Железнодорожный	N48°31'47,9192" E135°03'44,4270"	<0,005	н.п.о.	Чистая
55	Железнодорожный	N48°31'10,1773" E135°04'17,6242"	0,038±0,009	1,9	Допустимая*
56	Железнодорожный	N48°31'14,8916" E135°09'04,6886"	0,010±0,002	0,5	Чистая
57	Кировский	N48°30'21,4483" E135°02'02,0612"	0,031±0,007	1,55	Допустимая*
58	Кировский	N48°30'21,8960" E135°03'41,4131"	0,020±0,005	1,0	Допустимая*
59	Кировский	N48°29'58,7003" E135°02'12,6030"	0,528±0,130	26,4	Чрезвычайно опасная
60	Кировский	N48°29'56,0385" E135°02'46,3704"	<0,005	н.п.о.	Чистая
61	Железнодорожный	N48°30'08,4254" E135°03'57,0214"	0,194±0,048	9,7	Чрезвычайно опасная
62	Железнодорожный	N48°29'49,3199" E135°06'58,3926"	0,057±0,014	2,85	Опасная
63	Кировский	N48°29'34,7293" E135°02'25,5483"	0,04±0,01	2,0	Опасная
64	Кировский	N48°29'32,8343" E135°02'18,4564"	<0,005	н.п.о.	Чистая
65	Железнодорожный	N48°28'17,3024" E135°09'57,8367"	<0,005	н.п.о.	Чистая

Окончание табл. 1 | End of the Table 1

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
66	Индустриальный	N48°27'46,5700" E135°06'11,9792"	0,047±0,010	2,35	Опасная
67	Железнодорожный	N48°28'05,3877" E135°07'45,4490"	0,007±0,001	0,35	Чистая
68	Индустриальный	N48°27'48,3085" E135°06'51,2428"	0,036±0,009	1,8	Допустимая*
69	Индустриальный	N48°27'11,6787" E135°07'08,0910"	0,009±0,002	0,45	Чистая
70	Индустриальный	N48°26'59,2147" E135°07'11,6227"	<0,005	н.п.о.	Чистая
71	Индустриальный	N48°26'44,7397" E135°06'59,4732"	<0,005	н.п.о.	Чистая
72	Железнодорожный	N48°25'39,6463" E135°07'43,0200"	0,020±0,005	1,0	Допустимая*
73	Индустриальный	N48°24'40,0408" E135°05'45,8393"	<0,005	н.п.о.	Чистая
74	Индустриальный	N48°25'08,1341" E135°06'34,2283"	0,014±0,003	0,7	Чистая
75	Индустриальный	N48°24'15,2068" E135°05'31,2780"	0,055±0,014	2,75	Опасная
76	Индустриальный	N48°24'06,4572" E135°08'55,4492"	0,008±0,002	0,4	Чистая
77	Индустриальный	N48°23'31,7577" E135°08'26,1824"	<0,005	н.п.о.	Чистая
78	Индустриальный	N48°23'31,4624" E135°08'38,5258"	0,007±0,001	0,35	Чистая
79	Индустриальный	N48°23'42,6337" E135°09'50,5804"	<0,005	н.п.о.	Чистая
80	Индустриальный	N48°23'53,7195" E135°10'22,6381"	<0,005	н.п.о.	Чистая

Примечание: здесь и в табл. 3, 4 ПДК — предельно допустимая концентрация; н.п.о. — значение ниже предела обнаружения прибором; * в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 для почв, загрязнённых органическим токсикантом 1-го класса опасности, на уровне от 1 до 2 ПДК устанавливается категория «допустимая».

Note: Here and in Tables 3, 4 MPC — Maximum Permissible Concentration; н.п.о. — below detection level; * acceptable category can be assigned to soils contaminated with I Class organic toxicant between 1–2 MPC according to SanPin 1.2.3685-21.

Анализ в разрезе административных районов города показал, что максимальные значения средних концентраций БП отмечены в почве жилых зон Железнодорожного района — 0,16 мг/кг (коэффициент опасности равен 8). По содержанию БП в почве производственных зон лидирует Кировский район — 0,1548 мг/кг, коэффициент опасности равен 7,74 (рис. 5). Ранжирование административных районов выполнено по среднему и максимальному содержанию БП в почве и сумме рангов раздельно по жилым и производственным зонам. Наиболее

загрязнённым является Железнодорожный район. По загрязнению в промзоне лидирует Кировский район, в котором размещены Речной порт, ХНПЗ, ТЭЦ-2, бывший завод «Дальдизель».

Полученные результаты сравнивали с результатами исследований по другим населённым пунктам Дальнего Востока и Европейской части РФ (табл. 4 [15, 21, 23–25]).

Представленные данные показывают, что:

- среднее содержание БП в городских почвах изменяется от 0,021 до 0,07955 мг/кг, более высокие

значения соответствуют городам со сложной структурой функциональных зон и разнообразными источниками загрязнения;

- наиболее высокие значения максимальных коэффициентов опасности отмечены для Комсомольска-на-Амуре и Таганрога с развитой промышленностью и для Хабаровска (энергетика и транспорт);
- высокие средние концентрации БП в Волгограде определены в окрестности ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», в Москве — в дорожной пыли на разных типах дорог, а также автостоянок во дворах;
- приоритетными источниками поступления БП в почвы являются объекты промышленности, связанные со сжиганием топлива, а также объекты энергетики и автотранспорт, что подтверждается практически во всех цитированных в статье литературных источниках.

Известно, что функциональная структура города в сочетании с ландшафтно-геохимическими условиями относится к важным факторам, определяющим уровень техногенного воздействия на почву [25]. Специфика и уровень техногенной нагрузки на городские почвы, т.е. интенсивность поступления поллютантов, определяются видом использования территории, а уровень их накопления зависит от фиксирующей способности почв. Пространственное распределение БП находится в зависимости от количества и геохимической специализации источников загрязнения [14]. Результаты проведённых исследований по г. Хабаровску и другим дальневосточным населённым пунктам полностью согласуются с этими выводами.

Логичным продолжением работы являются исследования в точках выбросов с изучением распределения содержания БП по почвенным горизонтам, определением радиальной дифференциации и расчётом индивидуального канцерогенного риска.

Таблица 2. Описательная статистика концентрации бензо(а)пирена в почве г. Хабаровска

Table 2. Benzo(a)pyrene soil concentration in Khabarovsk

Выборка Location	Минимальное значение, мг/кг Min, mg/kg	Максимальное значение, мг/кг Max, mg/kg	Межквартильный размах, мг/кг Interquartile range, mg/kg	Медиана, мг/кг Median, mg/kg	Количество точек выброса Number of outliers
Общий массив Total area	0,005	0,097	0,040	0,024	7
Жилые зоны Residential areas	0,005	0,078	0,058	0,02	5
Производственные зоны Industrial areas	0,007	0,097	0,0415	0,031	2

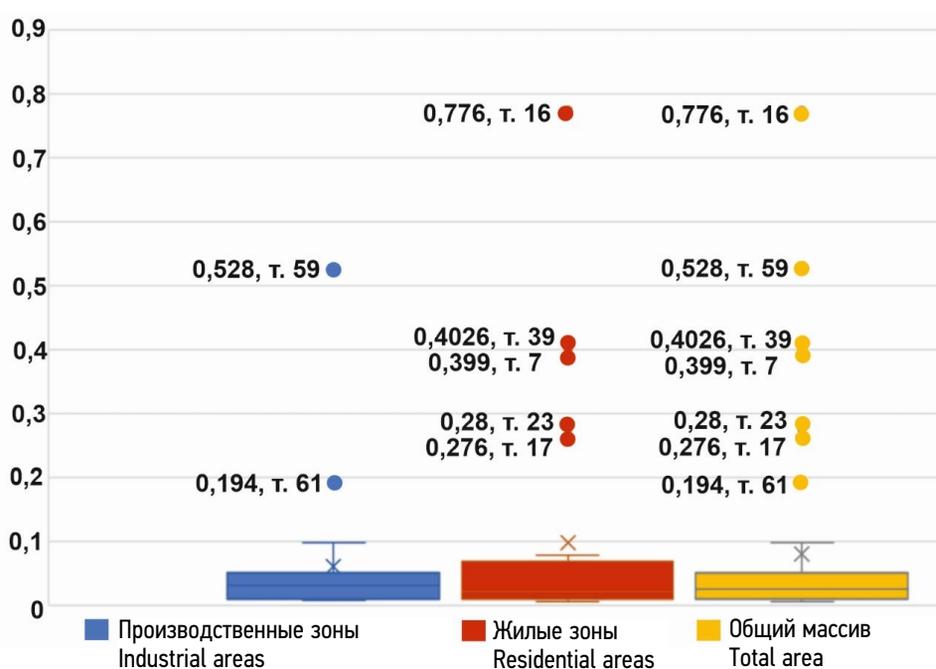


Рис. 2. «Ящик с усами» по концентрациям бенз(а)пирена в почвах г. Хабаровска.

Fig. 2. Boxplots on the benzo(a)pyrene concentration in soils of Khabarovsk.

Таблица 3. Показатели загрязнения бенз(а)пиреном почв г. Хабаровска (2017–2020 гг.)**Table 3.** Indicators of benzo(a)pyrene soil contamination in Khabarovsk (2017–2020)

Показатели	Всего Total	В том числе Stratified by area		
		жилые зоны residential areas	производственные зоны industrial areas	агроселитебные зоны agro-residential areas
Число отобранных проб почвы: Number of soil samples:	78	38	32	8
с концентрацией бенз(а)пирена <0,005 with benzo(a)pyrene concentration <0.005	28	11	11	6
с концентрацией >0,005 with benzo(a)pyrene concentration >0.005	50	27	21	2
с концентрацией > ПДК with benzo(a)pyrene concentration > MPC	26	13	11	2
Удельный вес проб, в которых бенз(а)пирен не обнаружен Proportion of samples with no benzo(a)pyrene detected	35,90	28,96	34,38	75,0
Удельный вес проб с превышением ПДК Proportion of samples with benzo(a)pyrene concentration > MPC	33,33	34,21	34,38	25,0
Средняя концентрация, мг/кг Mean concentration of benzo(a)pyrene, mg/kg	0,07955±0,04310	0,0973±0,0712	0,06058±0,05240	0,039
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по средней концентрации Pollution indicator (hazard coefficient) by mean concentration	3,98	4,87	3,02	1,95
Минимальная концентрация, мг/кг Minimal concentration, mg/kg	0,005	0,005	0,007	0,03
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по минимальной концентрации Pollution indicator (hazard coefficient) by minimal concentration	0,25	0,25	0,35	1,5
Максимальная концентрация, мг/кг Maximal concentration, mg/kg	0,776	0,776	0,528	0,048
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по максимальной концентрации Pollution indicator (hazard coefficient) by maximal concentration	38,8	38,8	26,4	2,4

Примечание: ПДК — предельно допустимая концентрация.

Note: MPC — maximal permissible concentration.

Таблица 4. Сравнительный анализ концентрации бенз(а)пирена в почвах городов**Table 4.** Benzo(a)pyrene concentration in urban soils (comparative analysis)

Населённый пункт Setting	Количество точек отбора Number of sampling sites	Средняя концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Mean benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Максимальная концентрация бенз(а)пирена, доли ПДК Mean benzo(a)pyrene concentration, % MPC	Примечание Note
Город Хабаровск Khabarovsk [15, 21, 23–25]	78	0,07955	38,8	Наиболее загрязнёнными являются жилые зоны, расположенные по периметру производственных зон
Город Благовещенск Blagoveschensk [15, 21, 23–25]	18	0,02	2,15	Концентрация бенз(а)пирена выше порога определения обнаружена только в двух пробах, в одной из которых значение показателя ниже ПДК, во второй — 2,15 ПДК
Город Комсомольск-на-Амуре Komsomolsk-on-Amur [15, 21, 23–25]	31	0,0616	58,6	Категория загрязнения «допустимая» отмечена в 84,2%, «опасная» — в 5,3%, «чрезвычайно опасная» — в 10,5% проб. Более загрязнена промзона
Ванино-Токинская агломерация Vanino-Tokinsk agglomeration [21]	21	0,06375	6	Доля проб с концентрацией бенз(а)пирена ниже предела обнаружения составляет 66,7%. Категория загрязнения «опасная» отмечена в 14,3%, «чрезвычайно опасная» — в 9,5% проб. Более загрязнена жилая застройка
Город Таганрог Taganrog [23]	384	0,0460	45,5	Приведены данные за 2013–2020 гг. в 19 мониторинговых точках. Показано, что долевым вклад бенз(а)пирена в комплексный показатель загрязнения составляет (Кпочва) 55,25%. Превышение ПДК бенз(а)пирена зарегистрировано в 65,63% исследованных проб почвы при его средней и максимальной концентрациях 2,298 и 45,525 ПДК соответственно. Закономерно выше оказалось загрязнение 3,4-бенз(а)пиреном почв селитебных территорий вблизи от перекрёстков с интенсивным движением автотранспорта. Выполнена оценка индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска (CR), обусловленного содержащимся в почве бенз(а)пиреном. Установлен его высокий уровень ($2,4606 \cdot 10^{-3}$) при приоритетном значении ингаляционного пути поступления (94,84%)
Город Воронеж Voronezh [25]	136	0,023	18	Показано, что уровень загрязнения почв города бенз(а)пиреном колеблется от 0,005 до 0,36 мг/кг и в разных функциональных зонах увеличивается в ряду: рекреационная, селитебная, промышленная, транспортная. Наиболее загрязнены почвы, расположенные в непосредственной близости от промышленных зон, центральных улиц и автомагистралей
Город Волгоград Volgograd [24]	105	0,153	8,2	Исследования выполнены в окрестности ООО «ЛУ-КОЙЛ-Волгограднефтепереработка». Исследовано 7 функциональных зон. Отмечено, что содержание бенз(а)пирена максимально (более 7,7 ПДК) в почвенном покрове полигонов захоронения твёрдых и вязких отходов. Концентрация бенз(а)пирена в почвенном покрове промзоны в 9 раз ниже, чем на полигонах, превышение ПДК локально. В почвах санитарно-защитной зоны и жилого массива

Окончание табл. 4 | End of the Table 4

Населённый пункт Setting	Количество точек отбора Number of sampling sites	Средняя концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Mean benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Максимальная концентрация бенз(а)пирена, доли ПДК Mean benzo(a)pyrene concentration, % MPC	Примечание Note
Город Москва Moscow [15]	160+33 (дворы и стоянки)	0,26	14,5/51	превышение ПДК бенз(а)пирена не выявлено, концентрация составляет соответственно 0,006 и 0,010 мг/кг Исследовано накопление бенз(а)пирена в дорожной пыли на разных типах дорог Москвы. Показано что наиболее загрязнёнными территориями являются крупные дороги (0,29 мг/кг; 14,5 ПДК) и автостоянки во дворах (0,37 мг/кг). В центре города содержание бенз(а)пирена в пыли дворов достигает 1,02 мг/кг (превышение ПДК в 51 раз). Канцерогенный риск для взрослых наиболее высок во дворовых зонах на юге, юго-западе, северо-западе и в центре Москвы

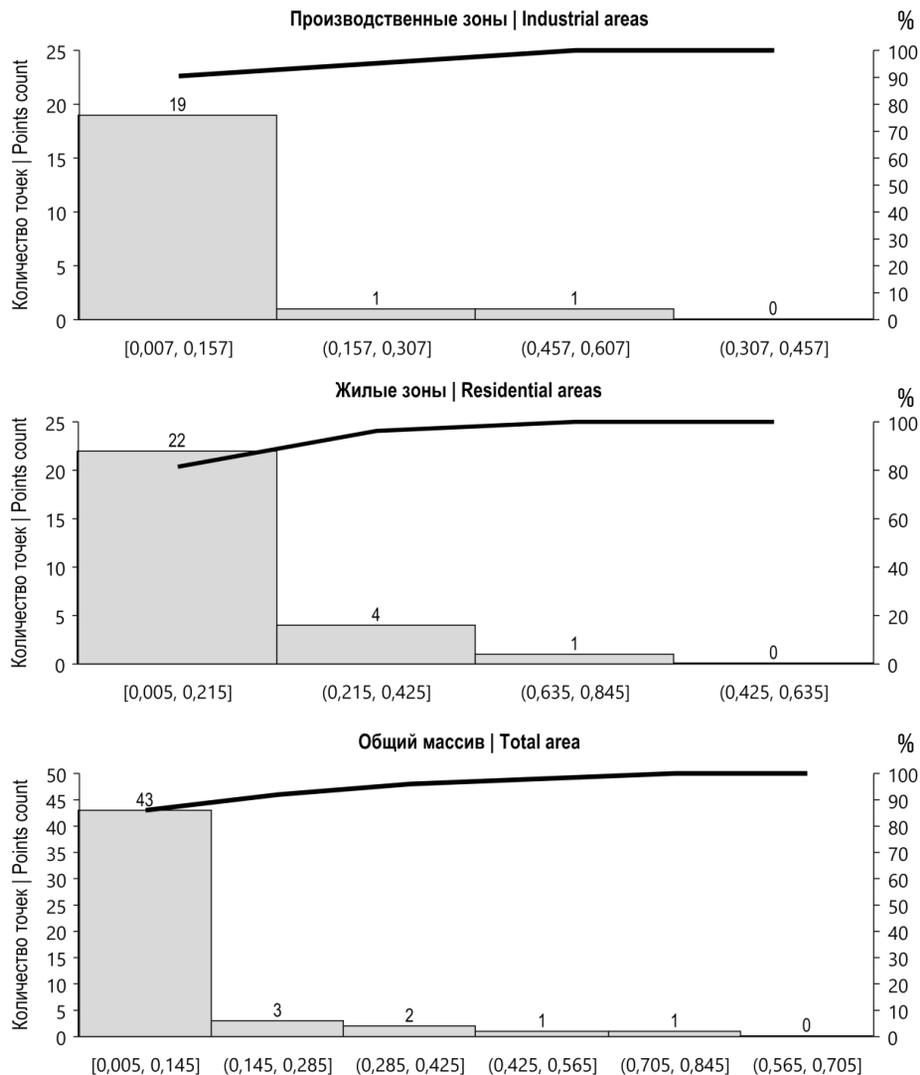


Рис. 3. Диаграммы Парето.
Fig. 3. Pareto Charts.

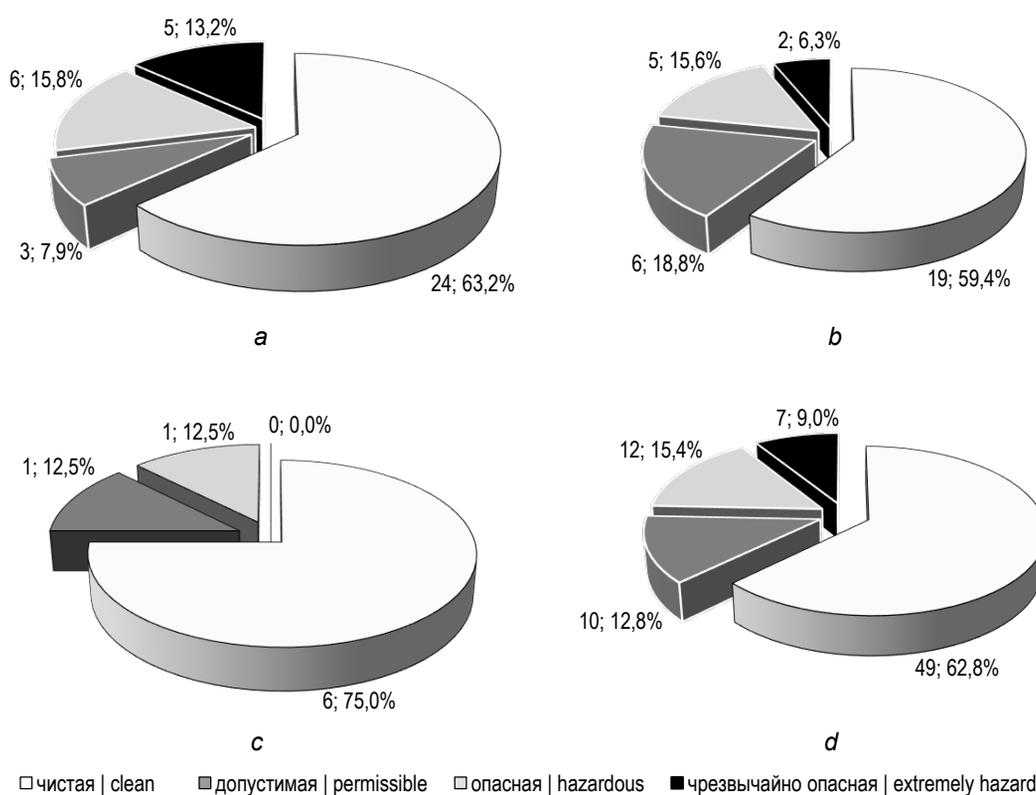


Рис. 4. Доля проб, процент по категориям загрязнения в разных функциональных зонах: *a* — жилые зоны, *b* — промышленные зоны, *c* — агроселитебные зоны, *d* — общая выборка.

Fig. 4. Percentage of samples, across pollution categories in different functional zones: *a* — residential zones, *b* — industrial zones, *c* — agro-residential zones, *d* — all zones.

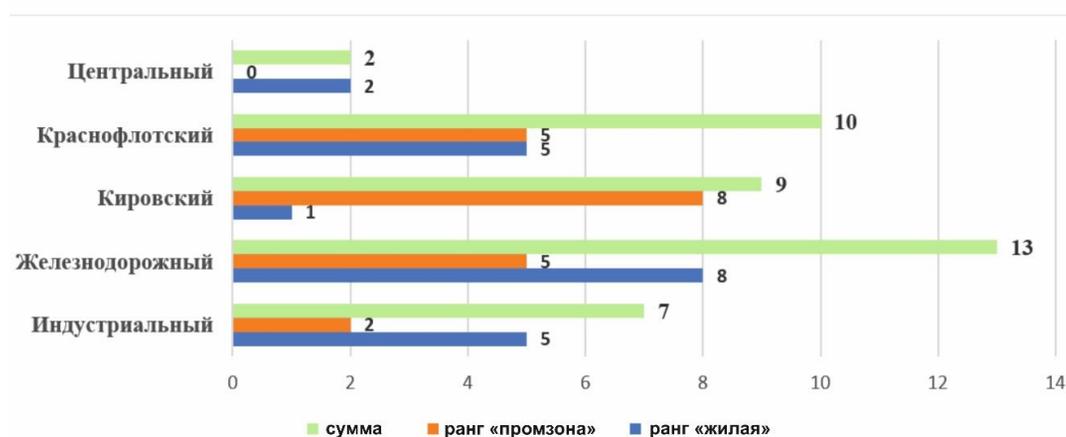


Рис. 5. Иерархическая диаграмма по административным районам Хабаровска и ранжирование административных районов.

Fig. 5. Hierarchical diagram for administrative districts of Khabarovsk and administrative districts ranking.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска составляет $0,07955 \pm 0,04310$, превышение предельно допустимой концентрации выявлено в 33,33% исследованных проб. Более высокий уровень загрязнения приходится на жилые территории, находящиеся в зоне влияния объектов энергетики и Хабаровского нефтеперерабатывающего завода. Максимальное содержание бенз(а)пирена отмечено в почве жилых зон и составляет 0,776 мг/кг, коэффициент опасности — 38,8. В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 62,8% проб относятся к категории «чистая» (включая точки с содержанием бенз(а)пирена ниже предела обнаружения), 12,8% — к категории «допустимая», 15,4% — «опасная», 9% — «чрезвычайно опасная». Анализ в разрезе административных районов города показал, что максимальные значения средних концентраций бенз(а)пирена отмечены в почве жилых зон Железнодорожного района — 0,16 мг/кг (коэффициент опасности равен 8), производственных зон Кировского района — 0,1548 мг/кг (коэффициент опасности равен 7,74).

Средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска несколько выше по сравнению с рядом городов Дальнего Востока и европейской части РФ. Сложившаяся

ситуация обусловлена несовершенством градостроительных решений, не учитывающих аэрогенный привнос загрязняющих веществ и накопление их в почвах селитебной территории.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Authors' contribution. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and writing of the article, read and approved the final version before publication).

Финансирование исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке Тихоокеанского государственного университета (НИР 2.22-ТОГУ).

Funding sources. This work was supported by the Pacific National University (research project 2.22-PNU).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов, о которых необходимо сообщить.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles // *Environmental Pollution*. 1999. Vol. 105, N 1. P. 67–74. doi: 10.1016/S0269-7491(98)00207-3
2. Чикидова А.Л. Полициклические ароматические углеводороды в экосистемах г. Москвы (на примере Восточного административного округа): дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2017. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30442121>
3. Yu H., Li T., Liu Y., Ma L. Spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in urban soil of China // *Chemosphere*. 2019. Vol. 230. P. 498–509. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.006
4. Essumang D.K., Doodoo D.K., Obiri S., Oduro A.K. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in street soil dust in Kumasi metropolis of Ghana // *Environ Monit Assess*. 2006. Vol. 121, N 1-3. P. 401–408. doi: 10.1007/s10661-005-9137-x
5. Шамилишвили Г.А., Абакумов Е.В., Габов Д.Н., Алексеев И.И. Особенности фракционного состава полициклических ароматических углеводородов и полиэлементного загрязнения почв урбанизированных территорий и их гигиеническая характеристика (на примере почв функциональных зон Санкт-Петербурга) // *Гигиена и санитария*. 2016. Т. 95, № 9. С. 827–837. doi: 10.1882/0016-9900-2016-9-827-837
6. Агапкина Г.И., Чиков П.А., Шелепчиков А.А., и др. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Москвы // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2007. № 3. С. 38–47.
7. Амирова З.К., Белан Л.Н., Валиуллина А.У., и др. Мониторинг стойких органических соединений и полиароматических углеводородов в почвах индустриального, рекреационного и селитебного назначения города Уфы // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015. Т. 17, № 5. С. 9–15.
8. Кухарчик Т.И., Хомич В.С., Какарека С.В., и др. Загрязнение почв урбанизированных территорий Белоруссии полициклическими ароматическими углеводородами // *Почвоведение*. 2013. № 2. С. 163. doi: 10.7868/S0032180X13020093
9. Бигалиев А.Б., Синтюрина А.В., Бияшева З.М. К вопросу о патогенном действии бензапирена, как загрязнителя окружающей среды (обзор) // *Вестник КазНУ. Серия экологическая*. 2009. Т. 24, № 1. С. 14–21.
10. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 3 «Об утверждении «Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями на 26 июня 2021 года). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8>

11. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
12. Головкин В.В., Зубарев Р.С., Чижевская М.В. Анализ динамики химического загрязнения почв Красноярского края (2000–2009 гг.) // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2011. Т. 1, № 7. С. 230–231.
13. Айдинов Г.Т., Марченко Б.И., Дерябкина Л.А., Синельникова Ю.А. Химическое загрязнение почв города Таганрога как фактор риска для здоровья населения // Анализ риска здоровью. 2017. № 1. С. 13–20.
14. Кошелева Н.Е., Цыхман А.Г. Пространственно-временные тренды и факторы загрязнения почвенного покрова Москвы // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26, № 2. С. 207–236. doi: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-207-236
15. Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Timofeev I.V., et al. Benzo[a]pyrene in Moscow road dust: pollution levels and health risks // Environ Geochem Health. 2023. N 45. P. 1669–1694. doi: 10.1007/s10653-022-01287-9
16. Касимов Н.С., Безбердая Л.А., Власов Д.В., Лычагин М.Ю. Металлы, металлоиды и бенз(а)пирен в микрочастицах почв и дорожной пыли Алушты // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1524–1538. doi: 10.1134/S0032180X19120062
17. Bezberdaya L., Kosheleva N., Chernitsova O., et al. Pollution level, partition and spatial distribution of benzo(a)pyrene in urban soils, road dust and their PM10 fraction of health-resorts (Alushta, Yalta) and industrial (sebastopol) cities of Crimea // Water. 2022. Vol. 14, N 4. P. 561. doi: 10.3390/w14040561
18. Kasimov N.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Vlasov D.V. Benzo(a)pyrene in urban environment of Eastern Moscow: pollution levels and critical loads // Atmos Chem Phys. 2016. Vol. 17, N 3. P. 2217–2227. doi: 10.5194/acp-17-2217-2017
19. Костылева Н.В., Рачёва Н.Л. Характеристики загрязняющих веществ из раздела «III. Для почв» «Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г. № 1316-р: справочник. Пермь : ФГБУ УралНИИ «Экология», 2017.
20. Филиппов С.П., Павлов П.П., Кейко А.В., и др. Экспериментальное определение выбросов сажи и ПАУ котельными и домовыми печами // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2000. № 3. С. 107–117.
21. Кошельков А.М., Майорова Л.П., Кузнецова А.А. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв Ванино-Токинской агломерации. В кн.: Философия современного природопользования в бассейне реки Амур : материалы XI научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 28 апреля 2022 г. Хабаровск : Издательство ТОГУ, 2022. Вып. 11. С. 64–69.
22. Кошельков А.М., Матюшкина Л.А. Оценка химического загрязнения почв водоохраных зон малых рек города Хабаровска // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 76–85. doi: 10.31433/1605-220X-2018-21-2-76-85
23. Дерябкина Л.А., Марченко Б.И., Тарасенко К.С. Оценка канцерогенного риска, обусловленного повышенным содержанием 3,4-бенз(а)пирена в почве промышленного города // Анализ риска здоровью. 2022. № 1. С. 27–35. doi: 10.21668/health.risk/2022.1.03
24. Околелова А.А., Мерзлякова А.С., Кожевникова В.П. Содержание бензапирена в почвенном покрове нефтеперерабатывающего предприятия // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2015. № 3 (выпуск 30). С. 111–116.
25. Каверина Н.В. Загрязнение бенз(а)пиреном почв города Воронежа // Экология урбанизированных территорий. 2020. № 3. С. 33–38. doi: 10.24412/1816-1863-2020-13033

REFERENCES

1. Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles. *Environmental Pollution*. 1999;105(1):67–74. doi: 10.1016/S0269-7491(98)00207-3
2. Chikidova AL. *Policiklicheskie aromatcheskie uglevodorody v jekosistemah g. Moskvy (na primere Vostochnogo administrativnogo okruga)* [dissertation]. Moscow; 2017. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30442121> (In Russ).
3. Yu H, Li T, Liu Y, Ma L. Spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in urban soil of China. *Chemosphere*. 2019;230:498–509. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.006
4. Essumang DK, Dodoo DK, Obiri S, Oduro AK. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in street soil dust in Kumasi metropolis of Ghana. *Environ Monit Assess*. 2006; 121(1-3):401–408. doi: 10.1007/s10661-005-9137-x
5. Shamilishvili GA, Abakumov EV, Gabov DN, Alexeev II. Features of fractional composition of polycyclic aromatic hydrocarbons and multielement contamination of soils of urban territories and their hygienic characteristics (on the example of soils of functional zones of Saint-Petersburg). *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. 2016;95(9):827–837. (In Russ). doi: 10.1882/0016-9900-2016-9-827-837
6. Agapkina GI, Chikov PA, Shelepchikov AA, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Moscow-city. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2007;(3):38–47. (In Russ).
7. Amirova Z, Belan L, Valiullina A, et al. Monitoring of persistent organic compounds and polyaromatic hydrocarbons in the soils of industrial, recreational and residential areas of Ufa city. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2015;17(5):9–15. (In Russ).
8. Kukharchyk TI, Khomich VS, Kakareka SV, et al. Contamination of soils in the urbanized areas of Belarus with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Eurasian Soil Science*. 2013;46(2):145–152. (In Russ). doi: 10.7868/S0032180X13020093
9. Bigaliev AB, Sintjurina AV, Bijasheva ZM. K voprosu o patogennom dejstvii benzapirena, kak zagriznitelja okružhajushhej sredy (obzor). *Eurasian Journal of Ecology*. 2009;24(1):14–21. (In Russ).
10. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 28.01.2021 N 3 «Ob utverzhdenii

- «Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями на 26 июня 2021 года). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8> (In Russ).
11. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 28.01.2021 N 2 «Ob utverzhenii sanitarnyh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovanija k obespečeniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredi obitanija». Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (In Russ).
 12. Golovkov VV, Zubarev RS, Chizhevskaja MV. Analiz dinamiki himicheskogo zagriznenija pochv Krasnojarskogo kraja (2000–2009 gg.). *Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki*. 2011;1(7):230–231. (In Russ).
 13. Aydinov GT, Marchenko BI, Deryabkina LA, Sinelnikova YuA. Chemical soil pollution in Taganrog as population health risk factors. *Health Risk Analysis*. 2017;(1):13–20. (In Russ).
 14. Kosheleva NE, Tsykhman AG. Spatial-temporal trends and factors of soil cover pollution in Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(2):207–236. (In Russ). doi: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-207-236
 15. Kosheleva NE, Vlasov DV, Timofeev IV, et al. Benzo[a]pyrene in Moscow road dust: pollution levels and health risks. *Environ Geochem Health*. 2023;(45):1669–1694. doi: 10.1007/s10653-022-01287-9
 16. Kasimov NS, Bezberdaya LA, Vlasov DV, Lychagin MY. Metals, metalloids, and benzo[a]pyrene in pm10 particles of soils and road dust of Alushta city. *Eurasian Soil Science*. 2019;52(12):1608–1621. (In Russ). doi: 10.1007/s10653-022-01287-9
 17. Bezberdaya L, Kosheleva N, Chernitsova O, et al. Pollution level, partition and spatial distribution of benzo(a)pyrene in urban soils, road dust and their PM10 fraction of health-resorts (Alushta, Yalta) and industrial (sebastopol) cities of Crimea. *Water*. 2022;14(4):561. doi: 10.3390/w14040561
 18. Kasimov NS, Nikiforova EM, Kosheleva NE, Vlasov DV. Benzo(a)pyrene in urban environment of Eastern Moscow: pollution levels and critical loads. *Atmos Chem Phys*. 2016. Vol. 17, N 3. P. 2217–2227. doi: doi.org/10.5194/acp-17-2217-2017
 19. Kostyleva NV, Rachjova NL. *Harakteristiki zagriznjajushhih veshhestv iz razdela «III. Dlja pochv» «Perechnja zagriznjajushhih veshhestv, v otnoshenii kotoryh primenjajutsja mery gosudarstvennogo regulirovanija v oblasti ohrany okruzhajushhej sredy», utverzhdennogo rasporzheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 08.07.2015 g. № 1316-r: spravochnik*. Perm': FGBU UralNII «Jekologija»; 2017. (In Russ).
 20. Filippov SP, Pavlov PP, Keiko AV, et al. Experimental determination of soot and PAH emissions from boiler and house furnaces. *Proceedings of the Academy of Sciences. Power Engineering*. 2000;(3):107–117. (In Russ).
 21. Koshelkov AM, Mayorova LP, Kuznetsova AA. Evaluation of the level of heavy metal pollution of soils in the Vanino-Tokino agglomeration. In: *Philosophy of modern environmental management in the Amur River basin: proceedings of the XI scientific and practical conference with international participation*. Khabarovsk, 28 April 2022; Khabarovsk: Togu Publishing House; 2022. Issue 11. P. 64–69.
 22. Koshelkov AM, Matyushkina LA. Assessment of chemical soil contamination in the Khabarovsk small rivers water protection zones. *Regional Problems*. 2018;21(2):76–85. (In Russ). doi: 10.31433/1605-220X-2018-21-2-76-85
 23. Deryabkina LA, Marchenko BI, Tarasenko KS. Assessment of carcinogenic risk caused by elevated 3,4-benzo(a)perene concentrations in soils in an industrial city. *Health Risk Analysis*. 2022;(1):27–35. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2022.1.03
 24. Okolelova AA, Marzliakova AS, Kozhevnikova VP. Content of benzopyrene in soil layer of a petroleum refine plant. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennyye nauki*. 2015;(3 issue 30):111–116. (In Russ).
 25. Kaverina NV. Soil contamination with benzo(a)pyrene in the Voronezh City. *Jekologija urbanizirovannyh territorij*. 2020;(3):33–38. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* Кошельков Антон Михайлович;

адрес: Россия, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1736-1016>;
eLibrary SPIN: 8540-9692;
e-mail: ecolog.dv@mail.ru

Майорова Людмила Петровна, д.х.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6326-982X>;
eLibrary SPIN: 5904-3031;
e-mail: 000318@pnu.edu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* Anton M. Koshelkov;

address: 136 Tihookeanskaja street, 680035 Khabarovsk, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1736-1016>;
eLibrary SPIN: 8540-9692;
e-mail: ecolog.dv@mail.ru

Lyudmila P. Mayorova, Dr. Sci. (Chem.), professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6326-982X>;
eLibrary SPIN: 5904-3031;
e-mail: 000318@pnu.edu.ru