

УДК 614.7

DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.03

Читать  
онлайн



Научная статья

## ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА, ОБУСЛОВЛЕННОГО ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ 3,4-БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ПОЧВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

Л.А. Дерябкина<sup>1</sup>, Б.И. Марченко<sup>2</sup>, К.С. Тарасенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области – филиал в городе Таганроге, Россия, 347930, г. Таганрог, Большой проспект, 16а

<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

Характерными для селитебных территорий урбанистических экологических систем, формируемых в границах крупных индустриальных городов, являются выраженные деструктивные изменения в почвах. Высокие уровни содержания в почве супертоксикантов и ксенобиотиков, включая полициклические ароматические углеводороды, обуславливают высокий потенциальный риск для здоровья городского населения.

Осуществлена оценка канцерогенного риска, обусловленного повышенным содержанием 3,4-бенз(а)пирена в почве промышленного города Таганрога Ростовской области с населением около 250 тысяч человек, включая оценку индивидуального и популяционного риска. Основаниями, определяющими актуальность проведения настоящего исследования, являются, во-первых, сверхнормативное содержание 3,4-бенз(а)пирена в почвах селитебных территорий и, во-вторых, стабильно высокие уровни заболеваемости населения города злокачественными новообразованиями.

В данном исследовании использованы результаты определения содержания 3,4-бенз(а)пирена в 384 пробах почвы, отобранных за период 2013–2020 гг. в 19 мониторинговых точках (жилые массивы вблизи перекрестков с интенсивным движением, зоны отдыха и территории дошкольных образовательных учреждений), которые регламентированы стандартом проведения социально-гигиенического мониторинга в Ростовской области. Установлено, что 3,4-бенз(а)-пирен является приоритетным поллютантом для городских почв при его долевом вкладе в комплексный показатель загрязнения ( $K_{\text{почва}}$ ) 55,25 %. Превышение предельно допустимой концентрации по содержанию в почве 3,4-бенз(а)пирена зарегистрировано в 65,63 % исследованных проб почвы при его средней и максимальной концентрациях 2,298 и 45,525 ПДК соответственно. Выполненная оценка индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска (CR), обусловленного содержанием в почве 3,4-бенз(а)пиреном, свидетельствует о его высоком уровне ( $2,4606 \cdot 10^{-3}$ ) при приоритетном значении ингаляционного пути поступления (94,84 %).

**Ключевые слова:** социально-гигиенический мониторинг, риск здоровью, химическое загрязнение почв, 3,4-бенз(а)-пирен, злокачественные новообразования, оценка канцерогенного риска.

Для большинства промышленных городов характерны выраженные деструктивные процессы в почвах селитебных территорий, обусловленные химическим загрязнением. Высокое содержание техногенных токсикантов, включая ксенобиотики, в поверхностном горизонте почв городских ландшафтов, которые являются открытыми системами и тесно взаимосвязаны с атмосферой и гидросферой, является высокоинформативным геохимическим показателем степени их деградации под воздействием антропогенной техногенной нагрузки. Этот показатель следует учитывать при изучении нарушений здоровья жителей городов, в том числе в части злокачественных новообразований. К числу наиболее значимых показателей при гигиенической

и экологической характеристике почв урбанизированных территорий относится содержание в них полициклических ароматических углеводородов (полиаренов, ПАУ), что связано с канцерогенной и мутагенной активностью многих из этих соединений, обуславливающей высокие риски для здоровья населения [1–6]. В Российской Федерации как универсальный индикатор и основной маркер контаминации компонентов окружающей среды ПАУ как за счет антропогенных техногенных, так и природных источников рассматривается относящийся к первому классу опасности канцероген и мутаген 3,4-бенз(а)пирен, а организация дополнительного контроля за его содержанием – как актуальное направление совершенствования системы социально-

© Дерябкина Л.А., Марченко Б.И., Тарасенко К.С., 2022

**Дерябкина Людмила Александровна** – кандидат медицинских наук, главный врач филиала (e-mail: tagcgsen@pbox.ttn.ru; тел.: 8 (863) 464-29-62; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0790-0365>).

**Марченко Борис Игоревич** – доктор медицинских наук, доцент, профессор Института нанотехнологий, электронники и приборостроения (e-mail: borismarch@gmail.com; тел.: 8 (863) 437-16-24; ORCID: <http://orcid.org/0001-6173-329X>).

**Тарасенко Карина Сергеевна** – аспирант Института нанотехнологий, электронники и приборостроения (e-mail: ktarasenko.sfedu@gmail.com; тел.: 8 (863) 437-16-24; ORCID: <https://orcid.org/0002-1279-7200>).

гигиенического мониторинга территорий крупных городов [3, 7]. Существенный вклад в эмиссию ПАУ в городах, наряду с промышленными источниками и предприятиями энергетической отрасли, вносят выбросы автотранспорта из-за неполного сжигания топлива в двигателях внутреннего сгорания, истирание дорожного покрытия и шин [8–16]. В Ростовской области наиболее мощным предприятием энергетической отрасли и одним из основных источников выбросов полиаренов в окружающую среду является Новочеркасская гидрорециркуляционная электростанция (ГРЭС). В зоне влияния объекта этот факт подтверждается результатами мониторинга почв в части уровня определения содержания 3,4-бенз(а)пирена в вегетативной и корневой частях растительности, расположенной в зоне влияния данного предприятия [17]. Существенный вклад в загрязнение окружающей среды способны вносить ПАУ, интенсивно продуцируемые при печном отоплении, особенно в случае использования угля в качестве топлива, а также поступающие из различных природных источников [18–24]. Почвы являются собой депо для полиаренов. Доказано, что непосредственной седиментации опасных примесей на поверхность почвы из атмосферного воздуха, а также с атмосферными осадками подвергается лишь часть веществ. Свыше половины данных соединений первично аккумулируется в растениях и попадает в почву после завершения вегетационного периода [25, 26]. Процессы поглощения ПАУ из почв через корни сельскохозяйственных растений обуславливают включение их через продукцию растениеводства в трофические цепи с выраженным эффектом биомагнификации. Кроме этого, активно аккумулируя данные поллютанты, почва служит источником вторичного загрязнения атмосферного воздуха и воды [27]. Таким образом, результаты мониторинга содержания 3,4-бенз(а)пирена в городских почвах являются высоконформативными интегральными показателями для объективной характеристики экологического состояния территории при ведении социально-гигиенического мониторинга и в системе экоаналитики [28].

В качестве объекта исследования выбран г. Таганрог – промышленный центр Ростовской области с населением около 250 тысяч человек, характеризующийся стабильно неблагоприятной ситуацией по онкологической заболеваемости [29]. Так, среднемноголетний показатель частоты по сумме локализаций злокачественных новообразований за последние 15 лет равен 480,11 %<sub>оооо</sub>, что превышает аналогичный показатель для городского населения Ростовской области (373,98 %<sub>оооо</sub>) в 1,28 раза и соответствует первому ранговому месту среди городов областного подчинения. Среднегодовой темп прироста многолетней тенденции общей онкологической заболеваемости населения Таганрога за 2006–2020 гг. составляет +0,28 %. Устойчивые тенденции к росту частоты сформиро-

вались по таким локализациям злокачественных новообразований, как полость рта и глотки (при среднегодовом темпе прироста многолетней тенденции +1,15 %), прямая кишка (+0,57 %), кожа без учета меланомы (+1,89 %), молочная железа (+1,95 %), шейка матки (+3,44 %), предстательная железа (+3,95 %), щитовидная железа (+4,42 %) и злокачественные лимфомы (+1,04 %). Первое ранговое место в структуре онкологической патологии занимают злокачественные новообразования кожи (без меланомы) при их удельном весе 15,08 %, второе – злокачественные новообразования молочной железы (12,50 %), третье – злокачественные новообразования трахеи, бронхов и легкого (9,14 %). Затем следуют злокачественные новообразования ободочной кишки, предстательной железы и желудка – 6,84; 6,14 и 6,04 % соответственно. В многолетней динамике частота злокачественных новообразований возросла в 2,06 раза – с 260,35 %<sub>оооо</sub> в 1986 г. до максимального зарегистрированного показателя в 2017 г. – 535,77 %<sub>оооо</sub> (рисунок).

**Цель исследования** – оценка индивидуального и популяционного канцерогенного риска, обусловленного повышенным содержанием 3,4-бенз(а)пирена в почвах селитебных территорий промышленного города Таганрога Ростовской области на основе данных социально-гигиенического мониторинга за период 2013–2020 гг.

**Материалы и методы.** В работе применены результаты исследований 384 проб почвы на содержание 3,4-бенз(а)пирена, а также сведения отчетных форм № 35 «Сведения о больных злокачественными новообразованиями» за 1985–2015 гг. и № 7 «Сведения о злокачественных новообразованиях» за 2016–2020 гг.

Отбор проб почвы в 2013–2020 гг. осуществлялся в 19 мониторинговых точках, относящихся к селитебным территориям вблизи перекрестков с интенсивным движением автомобильного транспорта (8), территориям муниципальных дошкольных образовательных учреждений (8) и зонам рекреации в границах города Таганрога (3) – набережная, парк и пляж. Определение массовой концентрации 3,4-бенз(а)пирена в почве производилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на стационарном хроматографе жидкостном «Стайер» с флуориметрическим детектором. При оценке долевого вклада 3,4-бенз(а)пирена в суммарное загрязнение почвы проводился расчет значений частных показателей содержания определяемых поллютантов (в ПДК), их коэффициентов концентрации с учетом региональных фоновых уровней (*F*), комплексного показателя загрязнения почвы (*K*<sub>почва</sub>) и суммарного коэффициента техногенного загрязнения (*Zc*). В качестве региональных для Ростовской области фоновых уровней содержания 3,4-бенз(а)пирена в черноземе обыкновенном приняты результаты исследований, выполненных сотрудниками Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного

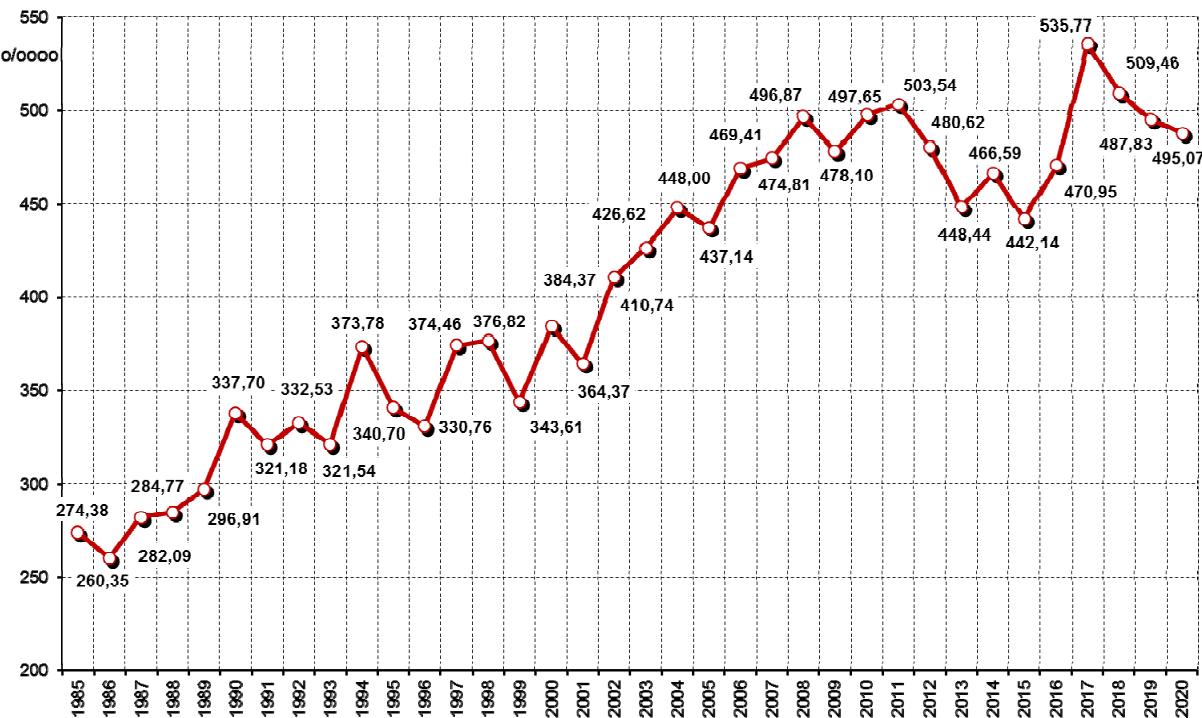


Рис. Динамика общей онкологической заболеваемости населения в г. Таганроге Ростовской области за период 1985–2020 гг.

федерального университета на территории Государственного почвенного заповедника «Персиановская заповедная степь». Оценка канцерогенного риска осуществлена в соответствии с Р 2.1.10.1920-04<sup>1</sup>.

При формировании баз данных и их статистической обработке применялось специализированное программное обеспечение собственной разработки, включая программный комплекс Turbo oncologist, version 2.01, реализующий алгоритмы ретроспективного эпидемиологического анализа частоты, структуры, многолетней динамики и пространственной характеристики на основе методов частной и комплексной оценки реального (эпидемиологического) риска; программный комплекс Turbo Dynamics, version 1.02: трендовый анализ многолетней динамики, среднесрочное экстраполяционное прогнозирование и моделирование, нелинейный регрессионный и корреляционный анализ; а также профессиональный пакет статистических программ IBM SPSS Statistics (Statistical Package for Social Science), version 19.0.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования, охватывающие период 2013–2020 гг., свидетельствуют о крайне высокой степени загрязнения почв Таганрога 3,4-бенз(а)пиреном. Так, из 384 исследованных проб превышение ПДК (0,02 мг/кг) выявлено в  $65,63 \pm 4,78\%$  случаев при средней фактической концентрации данного поллютанта  $0,0460 \pm 0,0103$  мг/кг (2,298 ПДК). При этом максимальное зарегистриро-

ванное содержание 3,4-бенз(а)пирена составляет 0,9105 мг/кг (45,525 ПДК). Установлена приоритетная роль данного поллютанта в загрязнении городских почв при его долевом вкладе в  $K_{\text{почва}}$ , составляющем 55,25 % (табл. 1).

Наиболее высокая степень загрязнения 3,4-бенз(а)пиреном приходится на почву селитебных территорий, расположенных вблизи от перекрестков с интенсивным движением автотранспорта (первая группа мониторинговых точек), где удельный вес проб с превышением ПДК за последние восемь лет равен  $71,60 \pm 5,64\%$ , а среднее содержание данного поллютанта –  $0,0475 \pm 0,0103$  мг/кг (2,376 ПДК). На втором ранговом месте по частоте превышения ПДК находится почва зон рекреации ( $58,72 \pm 9,45\%$ ), однако среднее содержание 3,4-бенз(а)пирена здесь оказалось даже выше, чем для первой группы мониторинговых точек ( $0,0498 \pm 0,0241$  мг/кг). Среди зон рекреации с крайне высоким уровнем загрязнения почвы 3,4-бенз(а)пиреном (до 45,525 ПДК) выделяется парк «Приморский», находящийся в зоне влияния основных производственных цехов ныне не существующего крупного предприятия сельскохозяйственного машиностроения – АО «Таганрогский комбайновый завод» и ОАО «Кирпичник». Таким образом, по среднему содержанию 3,4-бенз(а)пирена в соответствии с критериями оценки степени химического загрязнения СанПиН 2.1.7.1287-03<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

<sup>2</sup> СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 16 с.

Таблица 1

Показатели загрязнения 3,4-бенз(а)пиреном почв г. Таганрога Ростовской области в динамике за период 2013–2020 гг.

Показатель	Год наблюдения								2013–2020 гг.
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Доля проб с превышением ПДК, %	72,9	70,8	52,1	62,5	79,2	58,3	66,7	62,5	65,63 ± 4,78
Наибольшая концентрация, мг/кг	0,3710	0,1542	0,7610	0,9105	0,1799	0,2170	0,0440	0,1710	0,9105
Показатель загрязнения ( $I_{\max}$ , ПДК)	18,550	7,710	38,050	45,525	8,995	10,850	2,200	8,550	45,525
Среднегодовая концентрация ( $C_{ave}$ , мг/кг)	0,0484	0,0514	0,0471	0,0511	0,0476	0,0510	0,0227	0,0484	0,0460 ± 0,0103
Показатель загрязнения ( $I_{ave}$ , ПДК)	2,422	2,570	2,353	2,553	2,382	2,550	1,136	2,422	2,298
$K_{ почва}$	4,312	4,590	4,113	4,535	4,248	4,806	3,026	4,312	4,160
Долевой вклад в $K_{ почва}$ (%)	56,17	56,00	57,20	56,29	56,06	53,05	37,55	56,17	55,25
Суммарный коэффициент техногенного загрязнения ( $Z_c$ )	6,651	7,120	6,496	7,117	6,890	6,301	6,651	6,651	6,978

Таблица 2

Показатели загрязнения 3,4-бенз(а)пиреном почв г. Таганрога в различных типах мониторинговых точек за период 2013–2020 гг.

Показатель	Всего по мониторинговым точкам	В том числе		
		селитебные территории с интенсивным движением автомобильного транспорта	зоны рекреации (набережная, парк)	территории дошкольных образовательных учреждений
Число отобранных проб почвы	384	250	109	25
Доля проб с превышением ПДК (%)	65,6 ± 4,8	71,6 ± 5,6	58,7 ± 9,5	36,0 ± 19,8
Средняя концентрация ( $C_{ave}$ , мг/кг)	0,0460 ± 0,0103	0,0475 ± 0,0103	0,0498 ± 0,0241	0,0176 ± 0,0094
Показатель загрязнения по средней концентрации ( $I_{ave}$ , ПДК)	2,298	2,376	2,492	0,882
Нижняя доверительная граница средней концентрации ( $p < 0,05$ )	0,0357	0,0372	0,0256	0,0082
Верхняя доверительная граница средней концентрации ( $p < 0,05$ )	0,0563	0,0579	0,0740	0,0270
Минимальная концентрация ( $C_{min}$ , мг/кг)	0,0026	0,0038	0,0026	0,0040
Показатель загрязнения по минимальной концентрации ( $I_{min}$ , ПДК)	0,130	0,190	0,130	0,200
Максимальная концентрация ( $C_{max}$ , мг/кг)	0,9105	0,7610	0,9105	0,0621
Показатель загрязнения по максимальной концентрации ( $I_{max}$ , ПДК)	45,525	38,050	45,525	3,105

почва в первой и второй группах мониторинговых точек может быть отнесена к категории загрязнения «опасная». Для контрольных мониторинговых точек третьей группы, которые расположены на территориях муниципальных дошкольных образовательных учреждений, удельный вес проб почвы с превышением ПДК составляет  $36,00 \pm 19,81\%$  при среднем содержании 3,4-бенз(а)пирена  $0,0176 \pm 0,0094$  мг/кг ( $0,882$  ПДК) и максимальном содержании его, не превышающем  $3,105$  ПДК (табл. 2).

Высокая актуальность оценки связанного с химическим загрязнением городской почвы канцерогенного риска при ведении социально-гигиенического мониторинга определяется тем, что значительная часть селитебных территорий Таганрога представлена частной застройкой с приусадебными участками, на которых выращиваемая сельскохозяйственная продукция (овощи, фрукты, ягоды и др.) с высокой степенью вероятности контактирует с присутствующим в городской почве 3,4-бенз(а)пиреном.

Оценка канцерогенного риска, связанного с высоким содержанием в городской почве 3,4-бенз(а)-пирена, проведена по результатам лабораторных исследований за период 2013–2020 гг. Согласно рекомендациям [30–33], оценка канцерогенного риска выполнялась с учетом обоснованных максимальных экспозиций, рассчитанных на основе верхних 95%-ных доверительных границ средних концентраций 3,4-бенз(а)пирена.

Показатели индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска ( $CR$ ) в соответствии со сценарием селитебной зоны рассчитывались как суммы показателей канцерогенных рисков, обусловленных воздействием содержащегося в почве мониторинговых точек опробования 3,4-бенз(а)пирена, при реализации перорального ( $CR_o$ ), ингаляционного ( $CR_i$ ) и накожного ( $CR_d$ ) путей поступления в организм.

При расчете индивидуального канцерогенного риска за счет перорального пути поступления 3,4-бенз(а)пирена из почвы ( $CR_o$ ) было применено значе-

ние фактора наклона ( $SF_o$ ) равное  $7,3 \text{ (мг/ (кг·день))}^{-1}$ . Величины  $CR_o$  для отдельных календарных годов периода наблюдения варьировались в диапазоне от  $2,8312 \cdot 10^{-5}$  до  $6,4046 \cdot 10^{-5}$ , а среднемноголетний уровень  $CR_o$ , рассчитанный на основе верхней доверительной границы ( $p < 0,05$ ) средней концентрации 3,4-бенз(а)пирена, оказался равен  $7,2075 \cdot 10^{-5}$  (табл. 3).

Таким образом,  $CR_o$  соответствует второму диапазону пожизненного индивидуального риска (пределю допустимому риску или верхней границе приемлемого риска), что определяет необходимость осуществления постоянного контроля. Долевое участие  $CR_o$  в структуре индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска ( $CR$ ) составляет 2,93 %. Пожизненный популяционный канцерогенный риск (дополнительное по отношению к фоновому абсолютное число случаев злокачественных новообразований способных возникнуть на протяжении периода средней продолжительности жизни человека, равной 70 годам, из расчета на среднюю численность населения г. Таганрога 252 309 человек) при пероральном пути поступления 3,4-бенз(а)пирена из почвы ( $PCR_o$ ) соответствует 18 случаям. Соответственно годовой популяционный канцерогенный риск на 100 тысяч населения составляет 0,103 %<sub>ooo</sub>, а долевое участие 3,4-бенз(а)пирена почвы в формировании общей онкологической заболеваемости при пероральном пути поступления – 0,021 % (табл. 4).

В связи с недоступностью данных о коэффициенте абсорбции (GIABS) для 3,4-бенз(а)пирена его величина была принята равной 1,0, что соответствует 100%-ному поступлению данного поллютанта в организм [30, 31]. Поэтому при расчете индивидуального канцерогенного риска за счет накожного пути поступления значение фактора наклона ( $SF_d$ ) было приравнено к величине фактора наклона при пероральном пути поступления ( $SF_o$ ), т.е. к  $7,3 \text{ (мг/ (кг·день))}^{-1}$ . Значения годовых показателей индивидуального канцерогенного риска при накожном пути поступления ( $CR_d$ ) за последние восемь лет варьировались в пределах от  $2,1517 \cdot 10^{-5}$  до  $4,8675 \cdot 10^{-5}$  при его среднемноголетнем уровне  $5,4777 \cdot 10^{-5}$  (второй диапазон пожизненного индивидуального риска). Удельный вес  $CR_d$  в индивидуальном многомаршрутном канцерогенном риске ( $CR$ ) равен 2,23 %. Пожизненный популяционный канцерогенный риск ( $PCR_d$ ) для населения г. Таганрога соответствует 14 случаям за 70 лет, годовой популяционный канцерогенный риск на 100 тысяч населения – 0,078 %<sub>ooo</sub>, долевое участие 3,4-бенз(а)пирена почвы в формировании общей онкологической заболеваемости за счет накожного пути поступления – 0,016 %.

При оценке индивидуального канцерогенного риска за счет ингаляционного пути поступления 3,4-бенз(а)пирена из почвы ( $CR_i$ ) был применен фактор

Таблица 3

Канцерогенный риск здоровью населения г. Таганрога Ростовской области, обусловленный содержанием 3,4-бенз(а)пирена (3,4-БП) в почве за период 2013–2020 гг.

Показатель канцерогенного риска	Индивидуальный многомаршрутный канцерогенный риск	Канцерогенный риск, обусловленный воздействием содержащегося в почве 3,4-БП (сценарий селитебной зоны)		
		при пероральном пути поступления ( $CR_o$ )	при ингаляционном пути поступления ( $CR_i$ )	при накожном пути поступления ( $CR_d$ )
Риск по средним концентрациям за 2013–2020 гг.	$2,0203 \cdot 10^{-3}$	$5,9179 \cdot 10^{-5}$	$1,9161 \cdot 10^{-3}$	$4,4976 \cdot 10^{-5}$
Риск по верхним доверительным границам средних концентраций за 2013–2020 гг.	$2,4606 \cdot 10^{-3}$	$7,2075 \cdot 10^{-5}$	$2,3337 \cdot 10^{-3}$	$5,4777 \cdot 10^{-5}$
Структура канцерогенного риска, %	100,00	2,93	94,84	2,23

Таблица 4

Популяционный канцерогенный риск по верхним доверительным границам средних концентраций ( $p < 0,05$ ) за период 2013–2020 гг.

Показатель	Суммарный риск ( $PCR$ )	При пероральном пути поступления ( $PCR_o$ )	При ингаляционном пути поступления ( $PCR_i$ )	При накожном пути поступления ( $PCR_d$ )
Ожидаемое число случаев злокачественных новообразований на протяжении всей жизни (70 лет) из расчета на численность населения 252309	621	18	589	14
Годовой популяционный канцерогенный риск на 100 тысяч населения	3,515	0,103	3,334	0,078
Вклад 3,4-БП в почве в онкологическую заболеваемость, %	0,729	0,021	0,692	0,016

наклона ( $SF_i$ ), равный  $3,9 \text{ (мг/ (кг·день))}^{-1}$ , а при расчете фактора его испарения из почвы ( $VF$ ) – величина  $0,034 \text{ Па}\cdot\text{м}^3/\text{моль}$  – в качестве значения константы закона Генри. Установлено, что годовые показатели  $CR_i$  варьировались в пределах от  $9,1672 \cdot 10^{-4}$  до  $2,0737 \cdot 10^{-3}$ , а  $CR$  – от  $9,6655 \cdot 10^{-4}$  до  $2,1865 \cdot 10^{-3}$  при их среднемноголетних значениях  $2,3337 \cdot 10^{-3}$  и  $2,4606 \cdot 10^{-3}$  соответственно, что согласуется с четвертым диапазоном риска (более  $1,0 \cdot 10^{-3}$ ) – *De manifestis Risk*, неприемлемым ни для населения, ни для профессиональных групп. Таким образом, ингаляционный путь поступления 3,4-бенз(а)пирена из почвы является приоритетным при долевом участии  $CR_i$  в формировании индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска ( $CR$ ), равного 94,84 %. Пожизненный популяционный канцерогенный риск для населения г. Таганрога за счет ингаляционного пути поступления 3,4-бенз(а)пирена из почвы ( $PCR_i$ ) равен 589 случаям за 70 лет, пожизненный многомаршрутный популяционный канцерогенный риск ( $PCR$ ) – 621 случаю; годовые популяционные канцерогенные риски на 100 тысяч населения – 3,334 и  $3,515 \%_{\text{ooo}}$  соответственно при долевом участии 3,4-бенз(а)пирена почвы в формировании общей онкологической заболеваемости – 0,692 и 0,729 % соответственно (см. табл. 4).

**Выводы.** Таким образом, подтвержден существенный уровень контаминации почв г. Таганрога 3,4-бенз(а)пиреном и обусловленный данным поллютантом высокий канцерогенный риск. Специфические особенности данного соединения (тенденции

к аккумуляции в почве и персистентность с продолжительным сохранением биологической активности; возможность вторичного загрязнения атмосферного воздуха, а также попадания в трофические цепи через корневую систему сельскохозяйственных культур; доказанное канцерогенное, мутагенное и тератогенное воздействие на человека) определяют целесообразность включения динамического наблюдения за содержанием 3,4-бенз(а)пирена в перечень обязательных исследований почвы при ведении социально-гигиенического мониторинга. К перспективным направлениям совершенствования информационно-аналитического обеспечения гигиенической оценки химического загрязнения почв в системе социально-гигиенического мониторинга относится интегрирование профильных баз данных в региональные геоинформационные системы (ГИС) и программные средства с выходом на оценку риска развития канцерогенных эффектов, обусловленных химическим загрязнением почв в Ростовской области. При условии включения в программу региональной системы социально-гигиенического мониторинга планируется осуществление выборочных исследований по содержанию 3,4-бенз(а)пирена в растениеводческой продукции (овощи, фрукты), выращенной на приусадебных участках на территории г. Таганрога.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

- Онищенко Г.Г. Химическая безопасность – важнейшая составляющая санитарно-эпидемиологического благополучия населения // Токсикологический вестник. – 2014. – № 1. – С. 2–6.
- Унгуряну Т.Н., Гудков А.Б., Никанов А.Н. Оценка риска для здоровья городского населения при воздействии контаминантов почвы // Профилактическая и клиническая медицина. – 2012. – Т. 42, № 1. – С. 101–105.
- Гармонизация гигиенических нормативов для приоритетных загрязнений почвы с международными рекомендациями / И.А. Крятов, Н.И. Тонкопий, М.А. Водянова, О.В. Ушакова, Л.Г. Донерьян, И.С. Евсеева, И.С. Матвеева, Д.И. Ушаков // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 7. – С. 42–48.
- Унгуряну Т.Н., Новиков С.М. Подходы к оценке риска для здоровья при воздействии химических веществ с учетом возрастных особенностей // Гигиена и санитария. – 2012. – Т. 91, № 5. – С. 98–101.
- Анализ канцерогенного риска при воздействии факторов окружающей среды на здоровье населения крупного промышленного города и заболеваемость злокачественными новообразованиями / В.М. Боев, Л.В. Зеленина, Д.А. Кряжев, Л.М. Тулина, А.А. Неплохов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2016. – Т. 279, № 6. – С. 4–7.
- City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects / T. Nielsen, H.E. Jorgensen, J.C. Larsen, M. Poulsen // Sci. Total Environ. – 1996. – Vol. 189–190. – P. 41–49. DOI: 10.1016/0048-9697(96)05189-3
- Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга территорий крупных городов // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 4. – С. 298–301. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-298-301
- Бутенко Г.С., Полонская Д.Е. Содержание 3,4-бенз(а)пирена в почвах техногенно загрязненных территорий // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 7. – С. 86–90.
- Полициклические ароматические углеводороды в почвах техногенных ландшафтов / Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенок, Б.М. Яковлева // Геохимия. – 2010. – № 6. – С. 606–617.
- Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria / M. Benhaddya, A. Boukhelkhal, Y. Halis, M. Hadjel // Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 2016. – Vol. 70, № 3. – P. 556–571. DOI: 10.1007/s00244-015-0244-6
- Bispo A., Jourdain M.J., Jauzein M. Toxicity and genotoxicity of industrial soils polluted by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) // Organic Geochemistry. – 1999. – Vol. 30. – № 8B. – P. 947–952.

12. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. – 2013. – № 7. – С. 728–741. DOI: 10.7868/S0032180X13070125
13. Никифорова Е.М., Алексеева Т.А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах придорожных экосистем Москвы // Почвоведение. – 2002. – № 1. – С. 47–58.
14. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in urban and semi-urban soils of Havana, Cuba / D. Sosa, I. Hilber, R. Faure, N. Bartolome, O. Fonseca, A. Keller, T.D. Bucheli, A. Escobar // Journal of soils and sediments. – 2019. – Vol. 19. – P. 1328–1341.
15. Source apportionment of organic pollutants of a highway-traffic-influenced urban area in Bayreuth (Germany) using biomarker and stable carbon isotope signatures / B. Glaser, A. Dreyer, M. Bock, S. Fielder, M. Mehring, T. Heitmann // Environ. Sci. Tech. – 2005. – Vol. 39, № 11. – P. 3911–3917. DOI: 10.1021/es050002p
16. Watts A., Ballesteros T., Gardner K. Soil and atmospheric inputs to PAH concentrations in salt marsh plants // Water Air and Soil Pollution. – 2007. – Vol. 189, № 1. – P. 253–263. DOI: 10.1007/s11270-007-9572-0
17. Содержание 3,4-бенз(а)пирена в растительности, расположенной в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС / О.Н. Горобцова, О.Г. Назаренко, Т.М. Минкина, Н.И. Борисенко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2006. – № 3. – С. 63–66.
18. A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior / S. Baek, R. Field, M. Goldstone, P. Kirk, J. Lester, R. Perry // Water, Air, and Soil Pollution. – 1991. – Vol. 60. – P. 279–300.
19. Gustafson P., Ostman C., Sallsten G. Indoor levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in homes with or without wood burning for heating // Environ. Sci. Tech. – 2008. – Vol. 42, № 14. – P. 5074–5080. DOI: 10.1021/es800304y
20. Barra R., Castillo C., Machado Torres J.P. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the South American environment // Rev. Environ. Contam. Toxicol. – 2007. – Vol. 191. – P. 1–22. DOI: 10.1007/978-0-387-69163-3\_1
21. Blomqvist P., Persson B., Simonson McNamee M. Fire emissions of organics into the atmosphere // Fire Technology. – 2007. – Vol. 43, № 3. – P. 213–231. DOI: 10.1007/s10694-007-0011-y
22. Long-range atmospheric transport and local pollution sources on PAH concentrations in a South European urban area. Fulfilling of the European directive / M.S. Callen, M.T. de la Cruz, J.M. Lopez, R. Murillo, M. Navarro, A. Mastral // Water Air and Soil Pollution. – 2008. – Vol. 190, № 1–4. – P. 271–285. DOI: 10.1007/s11270-007-9599-2
23. Dvorska A., Lammel G., Klanova J. Use of diagnostic ratios for studying source apportionment and reactivity of ambient polycyclic aromatic hydrocarbons over Central Europe // Atmospheric Environment. – 2011. – Vol. 45, № 2. – P. 420–427. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.09.063
24. Wilcke W. Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil // Geoderma. – 2007. – Vol. 141, № 3–4. – P. 157–166. DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.07.007
25. Биоаккумуляция полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растение / Е.В. Яковлева, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенок, Д.Н. Габов, М.И. Васильевич // Агрохимия. – 2008. – № 9. – С. 66–74.
26. Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растения биоценозов северной тайги / Е.В. Яковлева, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенок, Д.Н. Габов // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 356–367.
27. Дерябин А.Н., Унгурян Т.Н. Оценка биологического загрязнения почвы на территории Архангельской области // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2017. – Т. 292, № 7. – С. 18–21.
28. Эколого-гигиеническая оценка качества почв урбанизированных территорий / М.А. Водянова, И.А. Крятов, Л.Г. Донерьян, И.С. Евсеева, Д.И. Ушаков, А.В. Сбитнев // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 10. – С. 913–916. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-10-913-916
29. Айдинов Г.Т., Марченко Б.И., Ковалев Е.В. Современные эпидемиологические особенности онкологической заболеваемости населения Ростовской области // Здоровье населения и среда обитания. – 2017. – Т. 296, № 11. – С. 7–15. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-296-11-7-15
30. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева. – М.: Изд-во НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
31. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья / А.Ю. Попова, В.Б. Гурвич, С.В. Кузьмин, А.Л. Мишина, С.В. Ярушин // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 12. – С. 1125–1129. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129
32. Методы и технологии анализа риска здоровью в системе государственного управления при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения / Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова, И.В. Май, П.З. Шур // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 2. – С. 93–98.
33. Актуальность оценки многосредового канцерогенного риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих окружающую среду / В.И. Курчанов, Т.Е. Лим, И.А. Воецкий, С.А. Головин // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2015. – Т. 268, № 7. – С. 8–12.

Дерябина 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

Research article

## ASSESSMENT OF CARCINOGENIC RISK CAUSED BY ELEVATED 3,4-BENZ(A)PYRENE CONCENTRATION IN SOILS IN AN INDUSTRIAL CITY

L.A. Deryabkina<sup>1</sup>, B.I. Marchenko<sup>2</sup>, K.S. Tarasenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Center for Hygiene and Epidemiology in Rostov Region, Taganrog Office, 16a Bol'shoi Ave., Taganrog, 347930, Russian Federation

<sup>2</sup>Southern Federal University, 105/42 Bol'shaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

*Apparent destructive changes in soils typically occur in residential areas within urbanized ecological systems formed in large industrial cities. Elevated concentrations of super-toxicants and xenobiotics in soils, polycyclic aromatic hydrocarbons included, create high potential health risks for city population.*

*Our research goal was to assess the carcinogenic risk caused by elevated 3,4-benz(a)pyrene concentrations in soils in Taganrog, an industrial city with its population being about 250 thousand people located in Rostov region. The assessment included individual and population risks. There are two basic reasons which make the research vital. First of all, 3,4-benz(a)pyrene contents in soils in residential areas exceed hygienic standards. Secondly, the incidence of malignant neoplasms has been stably high in the city.*

We analyzed the results of determining 3,4-benz(a)pyrene concentrations in 384 soil samples taken in 2013–2020 at 19 monitoring posts (located within residential areas close to crossroads with intense traffic, recreational zones, and areas around pre-school children facilities). 3,4-benz(a)pyrene was established to be the priority pollutant in soils in the city with its share contribution to the complex pollution index ( $C_{soil}$ ) being 55.25 %. 3,4-benz(a)pyrene concentrations were higher than maximum permissible ones in 65.63 % of all the examined soil samples; its average and maximum concentrations were equal to 2.298 and 45.525 MPC accordingly. We assessed the individual multi-route carcinogenic risk (CR) caused by elevated 3,4-benz(a)pyrene concentrations in soils. The risk turned out to be high ( $2.4606 \cdot 10^{-3}$ ) and inhalation introduction was established as the priority one (94.84 %).

**Key words:** social-hygienic monitoring, health risk, chemical soil pollution, 3,4-benz(a)pyrene, malignant neoplasms, carcinogenic risk assessment.

### References

1. Onishchenko G.G. Khimicheskaya bezopasnost' – vakhneishaya sostavlyayushchaya sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya [Chemical safety is the most important constituent of the sanitary and epidemiological well-being of population]. *Toksikologicheskii vestnik*, 2014, no. 1, pp. 2–6 (in Russian).
2. Unguryanu T.N., Gudkov A.B., Nikanov A.N. Health risk assessment of soil contaminants for health of urban population. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*, 2012, vol. 42, no. 1, pp. 101–105 (in Russian).
3. Kryatov I.A., Tonkopiy N.I., Vodyanova M.A., Ushakova O.V., Doneryan L.G., Evseeva I.S., Matveeva I.S., Ushakov D.I. Scientific evidence for hygienic standards harmonized with international recommendations for priority pollutions of soils. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 7, pp. 42–48 (in Russian).
4. Unguryanu T.N., Novikov S.M. Approaches to assessing the health risk under exposure to chemicals with account of age peculiarities. *Gigiena i sanitariya*, 2012, vol. 91, no. 5, pp. 98–101 (in Russian).
5. Boev V.M., Zelenina L.V., Kryazhev D.A., Tulina L.M., Neplokhov A.A. Analysis on exposure carcinogenic risk of environmental factors on health largest industrial cities and malignant tumors. *ZNiSO*, 2016, vol. 279, no. 6, pp. 4–7 (in Russian).
6. Nielsen T., Jorgensen H.E., Larsen J.C., Poulsen M. City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects. *Sci. Total Environ.*, 1996, vol. 189–190, pp. 41–49. DOI: 10.1016/0048-9697(96)05189-3
7. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I. Improvement of the system of social and hygienic monitoring of territories of large cities. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 4, pp. 298–301. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-298-301 (in Russian).
8. Butenko G.S., Polonskaya D.E. 3,4-benz(a)pyrene availability in the technogenically polluted territory soils. *Vestnik KrasGAU*, 2012, no. 7, pp. 86–90 (in Russian).
9. Gabov D.N., Beznosikov V.A., Kondratenok B.M., Yakovleva E.V. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of technogenic landscapes. *Geochemistry International*, 2010, vol. 48, no. 6, pp. 569–579. DOI: 10.1134/S0016702910060042

© Deryabkina L.A., Marchenko B.I., Tarasenko K.S., 2022

**Lyudmila A. Deryabkina** – Candidate of Medical Sciences, Chief Physician (e-mail: tagcgsen@pbox.ttn.ru; tel.: +7 (863) 464-29-62; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0790-0365>).

**Boris I. Marchenko** – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at the Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Engineering (e-mail: borismarch@gmail.com; tel.: +7 (863) 437-16-24; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6173-329X>).

**Karina S. Tarasenko** – Postgraduate student at the Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Engineering (e-mail: ktarasenko.sfedu@gmail.com; tel.: +7 (863) 437-16-24; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1279-7200>).

10. Benhaddya M., Boukhelkhal A., Halis Y., Hadjel M. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 2016, vol. 70, no. 3, pp. 556–571. DOI: 10.1007/s00244-015-0244-6
11. Bispo A., Jourdain M.J., Jauzein M. Toxicity and genotoxicity of industrial soils polluted by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Organic Geochemistry*, 1999, vol. 30, no. 8B, pp. 947–952.
12. Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: sources, behavior, and indication significance (a review). *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, no. 7, pp. 728–741. DOI: 10.1134/S1064229313070090
13. Nikiforova E.M., Alekseeva T.A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of roadside ecosystems of Moscow. *Eurasian soil science*, 2002, vol. 35, no. 1, pp. 42–52.
14. Sosa D., Hilber I., Faure R., Bartolome N., Fonseca O., Keller A., Bucheli T.D., Escobar A. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in urban and semi-urban soils of Havana, Cuba. *Journal of soils and sediments*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 1328–1341. DOI: 10.1007/s11368-018-2137-6
15. Glaser B., Dreyer A., Bock M., Fielder S., Mehring M., Heitmann T. Source apportionment of organic pollutants of a highway-traffic-influenced urban area in Bayreuth (Germany) using biomarker and stable carbon isotope signatures. *Environ. Sci. Technol.*, 2005, vol. 39, no. 11, pp. 3911–3917. DOI: 10.1021/es050002p
16. Watts A., Ballesteros T., Gardner K. Soil and atmospheric inputs to PAH concentrations in salt marsh plants. *Water Air and Soil Pollution*, 2008, vol. 189, no. 1, pp. 253–263. DOI: 10.1007/s11270-007-9572-0
17. Gorobtsova O.N., Nazarenko O.G., Minkina T.M., Borisenko N.I. Soderzhanie 3,4-benz(a)pirena v rastitel'nosti, raspolozhennoi v zone vliyaniya Novocherkasskoi GRES [Content of 3,4-benz(a)pyrene in vegetation located in the zone influenced by the Novocherkassk hydro-recirculation power plant]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki*, 2006, no. 3, pp. 63–66 (in Russian).
18. Baek S., Field R., Goldstone M., Kirk P., Lester J., Perry R. A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991, vol. 60, pp. 279–300.
19. Gustafson P., Ostman C., Sallsten G. Indoor levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in homes with or without wood burning for heating. *Environ. Sci. Technol.*, 2008, vol. 42, no. 14, pp. 5074–5080. DOI: 10.1021/es800304y
20. Barra R., Castillo C., Machado Torres J. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the South American environment. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 2007, vol. 191, pp. 1–22. DOI: 10.1007/978-0-387-69163-3\_1
21. Blomqvist P., Persson B., Simonson McNamee M. Fire emissions of organics into the atmosphere. *Fire Technology*, 2007, vol. 43, no. 3, pp. 213–231. DOI: 10.1007/s10694-007-0011-y
22. Callen M.S., de la Cruz M.T., Lopez J.M., Murillo R., Navarro M., Mastral A. Long-range atmospheric transport and local pollution sources on PAH concentrations in a South European urban area. Fulfilling of the European directive. *Water Air and Soil Pollution*, 2008, vol. 190, no. 1–4, pp. 271–285. DOI: 10.1007/s11270-007-9599-2
23. Dvorska A., Lammel G., Klanova J. Use of diagnostic ratios for studying source apportionment and reactivity of ambient polycyclic aromatic hydrocarbons over Central Europe. *Atmospheric Environment*, 2011, vol. 45, no. 2, pp. 420–427. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.09.063
24. Wilcke W. Review. Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. *Geoderma*, 2007, vol. 141, no. 3–4, pp. 157–166. DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.07.007
25. Yakovleva E.V., Beznosikov V.A., Kondratenok B.M., Gabov D.N., Vasilevich M.I. Bioakkumulyatsiya politsiliklicheskikh aromaticeskikh uglevodorofov v sisteme pochvarastenie [Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil-plant system]. *Agrokhimiya*, 2008, no. 9, pp. 66–74 (in Russian).
26. Yakovleva E.V., Beznosikov V.A., Kondratenok B.M., Gabov D.N. Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil-plant systems of the Northern-Taiga biocenoses. *Eurasian Soil Science*, 2012, vol. 45, no. 3, pp. 309–320. DOI: 10.1134/S1064229312030143
27. Deryabin A.N., Unguryanu T.N. Assessment of biological pollution of soil in the Arkhangelsk region. *ZNiSO*, 2017, no. 7 (292), pp. 18–21. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-291-7-18-21 (in Russian).
28. Vodianova M.A., Kriatov I.A., Donerian L.G., Evseeva I.S., Ushakov D.I., Sbitnev A.V. Ecological hygienic assessment of soils quality in urban areas. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 10, pp. 913–916. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-10-913-916 (in Russian).
29. Aydinov G.T., Marchenko B.I., Kovalev E.V. Modern epidemiological features of cancer incidence of population of Rostov region. *ZNiSO*, 2017, vol. 296, no. 11, pp. 7–15. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-296-11-7-15 (in Russian).
30. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu [Basics of health risk assessment under exposure to chemicals which pollute the environment]. Moscow, NII ECh i GOS Publ., 2002, 408 p. (in Russian).
31. Popova A.Yu., Gurvich V.B., Kuzmin S.V., Mishina A.L., Yarushin S.V. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 12, pp. 1125–1129. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129 (in Russian).
32. Zaytseva N.V., Popova A.Yu., May I.V., Shur P.Z. Methods and technologies of health risk analysis in the system of state management under assurance of the sanitation and epidemiological welfare of population. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 2, pp. 93–98 (in Russian).
33. Kurchanov V.I., Lim T.Ye., Voyetsky I.A., Golovin S.A. The relevance of assessment of multicompartiment carcinogenic risk to health from exposure to chemicals that pollute the environment. *ZNiSO*, 2015, vol. 268, no. 7, pp. 8–12 (in Russian).

Deryabkina L.A., Marchenko B.I., Tarasenko K.S. Assessment of carcinogenic risk caused by elevated 3,4-benz(a)pyrene concentration in soils in an industrial city. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 1, pp. 27–35. DOI: 10.2166/health.risk/2022.1.03.eng

Получена: 14.12.2021

Одобрена: 21.02.2022

Принята к публикации: 21.03.2022