



РИСК ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЙ С ЭКСПОЗИЦИЕЙ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВЫ

А.Н. Дерябин^{1,2}, Т.Н. Унгурияну^{1,2}, Р.В. Бузинов^{1,2}

¹Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Архангельской области, Россия, 163000, г. Архангельск, ул. Гайдара, 24

²Северный государственный медицинский университет, Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, 51

Проведен сравнительный анализ загрязнения почвы химическими веществами в городах Арктической зоны Архангельской области и оценка риска здоровью населения при воздействии контаминантов почвы в условиях селитебного сценария. Актуальность исследования определена тем, что Архангельская область входит в число субъектов Российской Федерации с наибольшей долей проб почв селитебных территорий с превышением гигиенических нормативов по санитарно-химическим и микробиологическим показателям.

В основе оценки – данные мониторинга химического загрязнения почв селитебных территорий в городах Арктической зоны Архангельской области (Северодвинске, Архангельске и Новодвинске) за 2007–2017 гг. Оценена экспозиция населения контаминантами почвы при их поступлении пероральным и накожным путем. Определены уровни риска для здоровья детского и взрослого населения. Для изучения неканцерогенных эффектов использован подход референтных доз, рассчитаны коэффициенты и индексы опасности. Установлено, что загрязнение почвы металлами в Северодвинске значительно выше, чем в других городах. Значения суммарных индексов опасности при комплексном поступлении химических веществ, загрязняющих почву, не превышали 1,0. Пероральный путь является основным путем воздействия загрязняющих почву веществ. На уровне медианы вклад перорального пути в суммарную дозу для исследуемых токсикантов среди взрослого и детского населения составил 68–79 %. Суммарный индивидуальный канцерогенный риск в Северодвинске выше, чем в других городах, и составил на уровне медианы и 90-го перцентилля $9,1 \cdot 10^{-4}$ и $2,3 \cdot 10^{-3}$ соответственно. Неканцерогенный и канцерогенный риски при воздействии контаминантов почвы на уровне медианных концентраций являются допустимыми.

Ключевые слова: загрязнение почвы, химические вещества, почва селитебных территорий, превышение гигиенических нормативов, оценка риска, уровень риска.

Являясь важнейшим компонентом окружающей среды, почва аккумулирует химические вещества и выступает источником вторичного загрязнения атмосферного воздуха и воды [1, 2]. Основными источниками поступления химических веществ в почву являются выбросы и сбросы промышленных предприятий, автотранспорт, бытовые и производственные отходы [3–7].

Воздействие химических веществ, загрязняющих почву, на здоровье населения может возникнуть как при прямом контакте с почвой (ручные земляные работы, ходьба босиком, игры детей в песочницах и т.д.), так и при опосредованном поступлении хими-

ческих соединений в организм человека через контактирующие с почвой среды (вода, воздух) [3, 8]. Наиболее опасными токсикантами для здоровья населения являются тяжелые металлы [9–11], оказывающие токсическое, аллергическое, канцерогенное и мутагенное действие [12, 13]. К приоритетным химическим веществам, загрязняющим почву, относятся медь, цинк, никель, свинец и кадмий [3, 14–16].

Архангельская область входит в число субъектов Российской Федерации, где установлена наибольшая доля проб почв селитебных территорий с превышением гигиенических нормативов по санитарно-химическим и микробиологическим показате-

© Дерябин А.Н., Унгурияну Т.Н., Бузинов Р.В., 2019

Дерябин Алексей Николаевич – главный специалист-эксперт отдела санитарного надзора, аспирант (e-mail: deryabin-an@mail.ru; тел.: 8 (8182) 65-27-93; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1853-8947>).

Унгурияну Татьяна Николаевна – доктор медицинских наук, доцент, главный специалист-эксперт отдела организации и обеспечения деятельности, профессор кафедры гигиены и медицинской экологии (e-mail: unguryanu_tn@mail.ru; тел.: 8 (8182) 21-04-61; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8936-7324>).

Бузинов Роман Вячеславович – доктор медицинских наук, доцент, руководитель, профессор кафедры гигиены и медицинской экологии (e-mail: arkh@29.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (8182) 20-05-69; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8624-6452>).

лям. На территории региона за 2015–2017 гг. удельный вес проб почвы селитебной зоны, не отвечающих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, составил 6,5 %, что превышает средний показатель по России в 1,3 раза (5,1 %)¹.

Настоящее исследование выполнено в трех крупных промышленных городах Архангельской области (Архангельске, Северодвинске и Новодвинске), которые относятся к арктическим территориям² и расположены в подзоне северной тайги. Арктический воздух приносит на данные территории холодную сухую погоду. Средняя температура воздуха января минус 14,7 °С, июля – плюс 14,8 °С [17]. Холодные климатические условия, малое количество осадков, непродолжительный вегетационный период способствуют накоплению содержания металлов в почве [18]. В связи с этим изучение загрязнения почвы химическими веществами в городах Арктической зоны и его влияние на здоровье населения является актуальным.

Цель исследования – сравнительный анализ загрязнения почвы химическими веществами в городах Арктической зоны Архангельской области и оценка риска здоровью населения при воздействии загрязнителей почвы в условиях селитебного сценария.

Материалы и методы. Выполнено описательное исследование качества почвы в Северодвинске, Архангельске и Новодвинске. Анализ выбросов промышленных предприятий осуществлен по данным статистической отчетной формы «2-ТП Воздух» за 2010–2015 гг. Уровни загрязнения почвы химическими веществами исследованы по данным мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Архангельской области» за 2007–2017 гг. Оценка риска здоровью городского населения от воздействия химических веществ, загрязняющих почву, выполнена для 10 соединений: медь (Cu), хром (Cr), цинк (Zn), никель (Ni), марганец (Mn), свинец (Pb), ртуть (Hg), кадмий (Cd), кобальт (Co) и мышьяк (As). Все пробы почвы были отобраны в районах жилой застройки, вблизи жилых домов, на детских и спортивных площадках.

Для описания содержания исследуемых химических веществ в почве и расчета уровней риска использованы медиана (*Me*) и 90-й процентиль (*P*₉₀). В связи с тем что распределение концентраций загрязняющих веществ статистически значимо отличалось от нормального распределения, для сравнения медианных значений между группами использовали критерий Краскела – Уоллиса, а для попарных сравнений – двухвыборочный критерий Вилкоксона. Критический уровень статистической значимости принимался равным 0,05. Динамика уровней содержания химических веществ в почве изучена с помощью темпа прироста. Статистический анализ проведен в программе STATA 14.0.

Общетоксическое и канцерогенное действие загрязняющих почву веществ на здоровье населения исследовалось в соответствии с общими принципами методологии оценки риска³. Использованы региональные значения факторов экспозиции: масса тела (кг), длительность воздействия (дней в году), время пребывания на открытом воздухе (часы в сутки), длительность контакта с почвой (часы в сутки) [19]. Оценена экспозиция загрязнителей почвы для двух путей поступления: перорального и кожного. Уровни риска определялись отдельно для детского (в возрастных группах 1–6 и 7–17 лет) и взрослого населения⁴.

Для изучения неканцерогенных эффектов использовался подход референтных доз. Характеристика токсичности загрязнителей проводилась на основе хронического суточного поступления вещества (мг/кг массы тела в сутки), коэффициентов опасности (*HQ*) для отдельных веществ и общих коэффициентов опасности (*THQ*) для отдельных веществ по всем путям. Для веществ, обладающих однонаправленным механизмом действия, рассчитаны индексы опасности (*HI*) и суммарные индексы опасности (*THI*), позволяющие оценить степень подверженности критических органов и систем органов.

Оценка канцерогенных эффектов проводилась на основе среднесуточной дозы в течение всей жизни (мг/кг·день) и фактора наклона. Рассчитаны следующие уровни канцерогенного риска: индивиду-

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. – 268 с.; О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области в 2017 году: Государственный доклад. – Архангельск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Архангельской области, 2018. – 149 с.

² О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: Указ Президента РФ № 296 от 02.05.2014 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162553/ (дата обращения: 10.12.2018).

³ 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.

⁴ Public Health Assessment Guidance Manual (Update) [Электронный ресурс]. – Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005. – URL: http://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/pdfs/phagm_final1-27-05.pdf (дата обращения: 10.12.2018); Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites [Электронный ресурс]. – Washington DC: Office of Emergency and Remedial Response U.S. EPA, 2002. – URL: <https://www.epa.gov/superfund/superfund-soil-screening-guidance> (дата обращения: 10.12.2018).

альный (CR) для каждого канцерогенного вещества, суммарный (CR_{sum}) для всех веществ по каждому пути поступления и для отдельных веществ по всем путям, общий суммарный (TCR) для всех веществ и всех путей поступления и популяционный (PCR) с учетом численности детского и взрослого населения городов.

За допустимый уровень неканцерогенных эффектов принимались значения HQ , HI и THI менее 1,0, для канцерогенных эффектов значение CR в диапазоне $1,0 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-4}$ в соответствии с руководством³.

Результаты и их обсуждение. В рамках социально-гигиенического мониторинга исследования почвы в зоне жилой застройки на территории Северодвинска проводятся в 13 мониторинговых точках, на территории Архангельска – в 17 точках, на территории Новодвинска – в 9. Численность населения на 01.01.2018 г., проживающего в Архангельске, составила 356,9 тысячи человек, в Северодвинске – 184,3 тысячи человек, в Новодвинске – 38,4 тысячи человек.

За 2007–2017 гг. в трех городах исследовано 23 200 проб почвы на содержание химических веществ, из них 1362 пробы не соответствовали гигиеническим нормативам (5,9 %). Наибольший удельный вес проб почвы, не отвечающих гигиеническим нормативам по содержанию загрязняющих веществ в течение данного периода, отмечался в Северодвинске (83 %). Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам по содержанию меди, хрома, цинка, никеля, свинца и мышьяка, в Северодвинске составила: 40,0; 3,2; 19,1; 43,0; 25,0 и 8,0 % соответственно, по содержанию кадмия и марганца – менее 1 %. Содержание в почве ртути и кобальта соответствовало гигиеническим нормативам.

Медианные концентрации меди, цинка, никеля и свинца в исследуемых пробах почвы в Северодвинске не превышали ПДК. На уровне верхнего предела экспозиции концентрации данных загрязняющих веществ были выше допустимых значений. Загрязнение почвы цинком, никелем, свинцом и медью на уровне P_{90} оказалось выше ПДК в 1,7–4,0 раза. Анализ многолетней динамики содержания никеля, цинка свинца и меди в почве на уровне P_{90} показал рост уровней загрязнения. За период с 2007 по 2017 г. средний темп прироста на уровне P_{90} составил 2,3; 24,6; 25,5 и 66,3 % соответственно. Содержание хрома, марганца, ртути, кадмия, кобальта и мышьяка в исследуемых пробах почвы на уровне Me и P_{90} было в пределах допустимых значений.

В Архангельске доля проб почвы, превышающих ПДК, для цинка и свинца составила 7 и 6 % соответственно. За исследуемый период отмечалось ухудшение качества почвы по данным химическим веществам: средний темп прироста на уровне P_{90} для цинка составил 14,7 %, свинца – 0,4 %. По содержанию меди, никеля и марганца доля проб почвы,

не отвечающих гигиеническим нормативам, составила менее 1 %. По остальным изучаемым показателям, не соответствующим гигиеническим нормативам, проб не установлено.

В Новодвинске наибольший удельный вес проб почвы, не отвечающих гигиеническим нормативам, отмечен по меди, цинку и свинцу (1,3; 8,0 и 1,5 % соответственно). При анализе многолетней динамики содержания данных веществ в почве установлено увеличение уровней загрязнения. За исследуемый период средний темп прироста на уровне P_{90} для меди составил 41,7 %, цинка – 19,0 %, свинца – 4,2 %. По хрому, никелю, марганцу, ртути, кадмию и кобальту нестандартных проб почвы не обнаружено. Содержание в почве Архангельска и Новодвинска меди, хрома, цинка, никеля, марганца, свинца, ртути, кобальта и кадмия на уровне Me и P_{90} не превышало допустимых значений.

Сравнительный анализ содержания загрязняющих веществ в почве городов Арктической зоны Архангельской области на уровне медианы показал, что загрязнение почвы металлами в Северодвинске статистически значимо выше ($p < 0,001$), чем в других городах исследования. Средние концентрации цинка, свинца, кадмия, марганца и ртути в почве Северодвинска в 5–23 раза превышали таковое в почве Архангельска и в 3–13 раз были выше, чем в почве Новодвинска. Медианная концентрация кобальта в почве Северодвинска в 80 раз превышала его содержание в почве Архангельска и Новодвинска. Содержание меди, хрома и никеля на уровне медианных значений в почве Северодвинска в 7; 30 и 47 раз выше, чем в почве Архангельска и Новодвинска (табл. 1).

Повышенные уровни содержания металлов в почве Северодвинска обусловлены высокой плотностью данных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий и автотранспорта. Основными отраслями промышленности в Северодвинске являются судо- и машиностроение, в Архангельске – деревообрабатывающая и пищевая промышленность, в Новодвинске – целлюлозно-бумажная промышленность. Согласно данным отчетной формы «2-ТП Воздух» плотность выбросов марганца, меди и свинца на 1 км² в Северодвинске составила 19; 3,1 и 0,08 кг соответственно, в Архангельске – 0,7; 0,06 и 0,003 кг, в Новодвинске – 1,2; 0,01 и 0,00006 кг. Цинк, никель и хром присутствуют только в выбросах промышленных предприятий Северодвинска (0,68; 3,61 и 0,003 кг соответственно). По данным ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» вклад автотранспорта в загрязнение атмосферы в Архангельске составил 57 %, Северодвинске – 24 %, Новодвинске – 6 %.

Значения общих коэффициентов опасности для каждого металла в сумме по пероральному и кожному путям экспозиции в исследуемых городах не превышали 1,0.

Таблица 1

Содержание загрязняющих веществ в почве городов
Арктической зоны Архангельской области
за 2007–2017 гг.

Вещество	Число проб	Me*	P ₉₀	ПДК (мг/кг)
Северодвинск				
Медь	852	2,4	12,4	3,0
Хром	533	3,0	5,8	6,0
Цинк	852	10,0	38,0	23,0
Никель	774	4,0	10,0	4,0
Марганец	764	54,0	93,0	140,0
Свинец	852	3,1	10,0	6,0
Ртуть	852	0,05	0,25	2,1
Кадмий	852	0,1	0,1	2,0**
Кобальт	764	2,0	4,0	5,0
Мышьяк	813	0,8	2,0	2,0
Архангельск				
Медь	1109	0,3	1,01	3,0
Хром	1107	0,1	0,1	6,0
Цинк	1109	1,9	18,4	23,0
Никель	1109	0,09	0,6	4,0
Марганец	1109	2,8	16,2	140,0
Свинец	1109	0,4	4,4	6,0
Ртуть	1109	0,002	0,12	2,1
Кадмий	1107	0,008	0,06	2,0**
Кобальт	1109	0,03	0,3	5,0
Новодвинск				
Медь	594	0,3	1,1	3,0
Хром	594	0,1	0,1	6,0
Цинк	594	2,9	21,2	23,0
Никель	594	0,09	0,4	4,0
Марганец	593	4,1	16,8	140,0
Свинец	594	0,5	2,2	6,0
Ртуть	585	0,01	0,2	2,1
Кадмий	594	0,01	0,06	2,0**
Кобальт	594	0,03	0,3	5,0

Примечание: *p** – сравнение медианных значений по критерию Вилкоксона (для всех химических веществ $p < 0,001$); ** – значение ОДК для кадмия.

Сравнительный анализ суммарных доз при поступлении химических веществ, загрязняющих почву в городах Архангельско-Северодвинской агломерации, показал, что дозовая нагрузка для детского населения в возрастной группе 1–6 лет превышает дозы химических веществ, получаемые детьми 7–17 лет и взрослым населением в 1,6 и 4,8 раза соответственно. Дозы химических веществ, получаемые при воздействии токсикантов почвы на детское население в возрастной группе 7–17 лет, в 3,0 раза выше по сравнению с взрослыми.

Пероральный путь является основным путем воздействия загрязняющих веществ почвы. На уровне медианных концентраций вклад экспозиции перорального пути в суммарную дозу для исследуемых токсикантов в среднем составляет среди детского населения в возрастной группе 1–6 лет – 79 %, среди детей 7–17 лет – 73 % и среди взрослого населения – 68 %.

Наибольшему риску развития общетоксических эффектов у населения в городах Арктической

Таблица 2

Ранжирование критических органов и систем по суммарным индексам опасности (ТНІ) при комплексном поступлении химических веществ, загрязняющих почву в городах Архангельской области

Критические органы и системы	Дети, возраст, лет				Взрослые	
	1–6		7–17			
	P ₅₀	P ₉₀	P ₅₀	P ₉₀	P ₅₀	P ₉₀
Северодвинск						
Органы кровообращения	0,035	0,064	0,025	0,045	0,009	0,016
Система крови	0,033	0,059	0,023	0,041	0,008	0,015
Нервная система	0,023	0,041	0,017	0,030	0,006	0,011
Почки	0,023	0,041	0,017	0,030	0,006	0,011
Печень	0,017	0,029	0,013	0,022	0,005	0,008
Кожа	0,013	0,028	0,009	0,018	0,003	0,006
Органы пищеварения	0,006	0,013	0,004	0,009	0,002	0,003
Репродуктивная система	0,006	0,012	0,004	0,008	0,002	0,003
Иммунная система	0,003	0,009	0,002	0,007	0,001	0,003
Архангельск						
Органы кровообращения	0,0015	0,011	0,001	0,008	0,0004	0,0028
Система крови	0,0015	0,011	0,001	0,007	0,0004	0,0027
Нервная система	0,0014	0,011	0,001	0,008	0,0004	0,003
Почки	0,0014	0,011	0,001	0,008	0,0004	0,003
Печень	0,0009	0,005	0,0006	0,004	0,0002	0,0014
Органы пищеварения	0,0005	0,006	0,0004	0,005	0,0001	0,0017
Репродуктивная система	0,0005	0,006	0,0004	0,004	0,0001	0,0016
Кожа	0,0002	0,002	0,0001	0,001	0,0001	0,0004
Иммунная система	0,0001	0,003	0,0001	0,002	0,00003	0,0008
Новодвинск						
Нервная система	0,002	0,012	0,0015	0,0089	0,0006	0,0034
Почки	0,002	0,012	0,0015	0,0089	0,0006	0,0034
Органы кровообращения	0,002	0,0095	0,0015	0,0068	0,0005	0,0025
Система крови	0,002	0,0093	0,0014	0,0067	0,0005	0,0025
Печень	0,0012	0,005	0,0009	0,004	0,0004	0,0015
Органы пищеварения	0,0009	0,007	0,0006	0,005	0,0002	0,002
Репродуктивная система	0,0008	0,007	0,0006	0,005	0,0002	0,0019
Иммунная система	0,0003	0,004	0,0002	0,003	0,0001	0,0013
Кожа	0,0002	0,002	0,0001	0,001	0,0001	0,0004

зоны при воздействии химических веществ, загрязняющих почву, подвергаются органы кровообращения, система крови, центральная нервная система, почки. Далее по подверженности воздействию находятся печень, кожа, органы пищеварения, репродуктивная и иммунная системы. Следует отметить, что риск развития неканцерогенных эффектов со стороны всех критических органов и систем органов среди детского и взрослого населения не превышает допустимый уровень $TNI = 1$ (табл. 2). Различия в уровнях неканцерогенного риска у детского и взрослого населения обусловлены разной продолжитель-

ностью и временем воздействия, массой тела и площадью поверхности тела [20].

Во всех городах на уровне медианных концентраций наибольший вклад в неблагоприятное воздействие на органы кровообращения, систему крови, нервную систему, почки и печень оказывает марганец (48–99 %), пищеварительную и репродуктивную системы – кадмий (39–60 %) и свинец (20–42 %), кожу – кобальт (64–84 %), иммунную систему – никель (15–65 %) и ртуть (33–86 %).

В Северодвинске значения суммарного индивидуального канцерогенного риска для всего населения при воздействии медианных концентраций канцерогенов были $9,1 \cdot 10^{-4}$, а на уровне 90-го процентиля – $2,3 \cdot 10^{-3}$. Уровни суммарного канцерогенного риска для всего населения в Архангельске и Новодвинске на уровне медианы были одинаковыми и составили $1,8 \cdot 10^{-5}$, на уровне 90-го процентиля – $1,2 \cdot 10^{-4}$ и $9,2 \cdot 10^{-5}$ соответственно (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Уровни индивидуального, суммарного и общего суммарного канцерогенного рисков при поступлении химических веществ, загрязняющих почву в городах Архангельской области

Канцероген	Путь поступления				CR_{sum}	
	пероральный		накожный			
	P_{50}	P_{90}	P_{50}	P_{90}	P_{50}	P_{90}
Северодвинск						
Никель	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
Свинец	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
Мышьяк	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Кобальт	$6,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$8,3 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
CR_{sum}	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Архангельск						
Никель	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Свинец	$5,8 \cdot 10^{-8}$	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$7,6 \cdot 10^{-8}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$
Кобальт	$7,9 \cdot 10^{-9}$	$9,4 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$
CR_{sum}	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Новодвинск						
Никель	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$
Свинец	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$
Кобальт	$7,9 \cdot 10^{-9}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$
CR_{sum}	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$

Уровень суммарного канцерогенного риска в Северодвинске на уровне медианных значений в 51 раз, а на уровне 90-го процентиля в 20–25 раз выше, чем в Архангельске и Новодвинске. Основной вклад в формирование канцерогенного риска в исследуемых городах принадлежит пероральному пути воздействия (69–79 %). Наибольший вклад в общий суммарный канцерогенный риск вносит никель (от 91 до 99 %). Популяционный канцерогенный риск за 70 лет при воздействии канцерогенов почвы на уровне медианы для Северодвинска составил 2,4, для Архангельска – 0,09, для Новодвинска – 0,001. Ежегодное дополнительное количество злокачественных новообразований среди населения Северодвинска, обусловленных канцерогенными веществами почвы, составляет 0,03 случая рака в год.

Выводы. Почва жилой застройки города Северодвинска отличается наибольшим содержанием металлов по сравнению с другими городами Арктической зоны Архангельской области, что обусловлено выбросами промышленных предприятий судостроения.

Уровни неканцерогенного и канцерогенного риска при воздействии химических веществ, загрязняющих почву в Северодвинске, выше, чем в других городах исследования, их значения на уровне медианных концентраций являются допустимыми. Уровень канцерогенного риска на уровне 90-го процентиля превышает допустимые значения, подлежит непрерывному контролю и требует разработки комплекса мероприятий по снижению загрязнения почвы химическими веществами, включающего совершенствование технологий производственных процессов, обеспечивающих сокращение выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду, создание сети предприятий по вторичному использованию и переработке отходов, строительство и реконструкцию канализационных очистных сооружений, выявление и ликвидацию источников загрязнения.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в почве на территории нефтедобывающих районов Республики Татарстан / Е.А. Тафеева, А.В. Иванов, А.А. Титова, И.В. Петров // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 10. – С. 939–941.
2. Дерябин А.Н., Унгуяну Т.Н. Оценка биологического загрязнения почвы на территории Архангельской области // Здоровье населения и среда обитания. – 2017. – Т. 292, № 7. – С. 18–21.
3. 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.
4. Загрязненность токсичными веществами почвы береговой зоны реки Волги в окрестностях Чебоксарской ГЭС / С.А. Иванов, О.Ф. Дмитриева, Н.И. Кульмакова, Ю.О. Димитриев // Экология человека. – 2016. – № 5. – С. 3–8.
5. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria / M. Benhaddya, A. Boukheikh, Y. Halis, M. Hadjel // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2016. – Vol. 70, № 3. – P. 556–571. DOI: 10.1007/s00244-015-0244-6

6. Urban park soil contamination by potentially harmful elements and human health risk in Peshawar city, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan / K. Sardar, M. Sadaf, S. Muhammad, L. Gang // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2016. – Vol. 165. – P. 102–110. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.03.007
7. Тилекова Ж.Т., Тонкопий М.С., Тастанова Б.Е. Оценка загрязнения почв Прибалхашья тяжелыми металлами // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2. – С. 3723–3726.
8. Колнет И.В., Студеникина Е.М. Организация мониторинга уровня загрязнения почвы для оценки риска здоровью детей // *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. – 2017. – № 70. – С. 100–105.
9. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // *Самарский научный вестник*. – 2016. – Т. 14, № 1. – С. 34–37.
10. Синцов А.В., Бармин А.Н., Валов М.В. Динамика тяжелых металлов в почвах урбоэкосистем // *Геология, география и глобальная энергия*. – 2014. – Т. 55, № 4. – С. 148–156.
11. Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near Tonglushan mine in Hubei, China / L.M. Cai, Z.C. Xu, J.Y. Qi, Z.Z. Feng, T.S. Xiang // *Chemosphere*. – 2015. – Vol. 127. – P. 127–135. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.01.027
12. Щербаков А.В., Щербакова В.Н. Влияние на здоровье человека загрязнения почв // *Актуальные проблемы естественнонаучного образования, защиты окружающей среды и здоровья человека: материалы IV Международной очной научно-практической конференции*. – Орёл: Издательство Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, 2016. – Т. 4, № 4. – С. 424–426.
13. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // *Астраханский вестник экологического образования*. – 2013. – Т. 23, № 1. – С. 182–192.
14. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms / K. Sardar, S. Hameed, S. Afzal, S. Fatima, M. Shakoar, S. Bharwana, H. Tauqeer // *Greener Journal of Environmental Management and Public Safety*. – 2013. – Vol. 2, № 4. – P. 172–179.
15. Ермолаева С.В., Лаврушина Е.Е., Кургаева А.В. Оценка загрязнения почв территорий Ульяновской области тяжелыми металлами // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2013. – Т. 15, № 3 (3). – С. 978–980.
16. Николаева А.Д. Экологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами // *Татищевские чтения. Актуальные проблемы науки и практики: материалы XIV Международной научно-практической конференции*. – Тольятти: Волжский университет имени В.Н. Татищева, 2017. – Т. 1. – С. 231–235.
17. От Поморья до Приморья: социально-гигиенические и экологические проблемы здоровья населения: монография / Р.В. Бузинов, П.Ф. Кику, Т.Н. Унгурияну, М.В. Ярыгина, А.Б. Гудков. – Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2016. – 397 с.
18. Краснощеков Ю.Н. Микроэлементы в почвах псевдотаежных лиственных лесов Центрального Хангая в Монголии // *Почвы в биосфере: сб. материалов всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН* / под ред. А.И. Сысо. – Томск, 2018. – С. 47–51.
19. Унгурияну 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.
20. Унгурияну Т.Н., Гудков А.Б., Никанов А.Н. Оценка риска для здоровья городского населения при воздействии контаминантов почвы // *Профилактическая и клиническая медицина*. – 2012. – № 1. – С. 101–105.

Дерябин А.Н., Унгурияну Т.Н., Бузинов Р.В. Риск здоровью населения, связанный с экспозицией химических веществ почвы // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 3. – С. 18–25. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.02



POPULATION HEALTH RISK CAUSED BY EXPOSURE TO CHEMICALS IN SOILS

A.N. Deryabin^{1,2}, T.N. Unguryanu^{1,2}, R.V. Buzinov^{1,2}

¹Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Arkhangelsk Region office, 24 Gaidara Str., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

²Northern State Medical University, 51 Troitskiy Ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

Our research goal was to comparatively analyze soils contamination with chemicals in cities located in the Arctic zone of Arkhangelsk region and to assess population health risk caused by soils in settlements contaminated with chemicals. The research has practical significance due to Arkhangelsk region being among the RF regions with the highest share of soils samples taken in settlements that deviate from hygienic standards as per sanitary-chemical and microbiological parameters.

The assessment was based on monitoring data on chemical contamination of soils in cities located in the Arctic zone of Arkhangelsk region (Severodvinsk, Arkhangelsk, and Novodvinsk) collected in 2007–2017. We assessed population exposure to contaminants in soils at their oral and subcutaneous introduction and determined risk levels for children's and adults' health. To examine non-carcinogenic effects, we applied reference doses and calculated hazard coefficients and indexes. We revealed that soils were contaminated with metals substantially greater in Severodvinsk than in two other cities. Aggregated hazard indexes calculated for combined introduction of contaminants from soils didn't exceed 1.0. Contaminants from soils primarily enter a body via oral introduction. A contribution made by oral introduction into a total dose for examined toxicants amounted to 68–79 % at the median level among children and adults. Overall individual carcinogenic risk in Severodvinsk was higher than in two other cities and amounted to $9.1 \cdot 10^{-4}$ and $2.3 \cdot 10^{-3}$ at the median level and 90%-percentile one accordingly. Non-carcinogenic and carcinogenic risks caused by exposure to contaminants in soils are acceptable when taken in their median concentrations.

Key words: soil contamination, chemicals, soils in settlements, deviation from hygienic standards, risk assessment, risk level.

References

1. Tafeeva E.A., Ivanov A.V., Titova A.A., Petrov I.V. Content of heavy metals and petroleum products in the soil on the territory of oil-producing areas of the Republic of Tatarstan. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 10, pp. 939–941 (in Russian).
2. Deryabin A.N., Unguryanu T.N. Assessment of biological pollution of soil in the Arkhangelsk Region. *Zdorov'e naseleeniya i sreda obitaniya*, 2017, vol. 292, no. 7, pp. 18–21 (in Russian).
3. Vodyanova 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 (in Russian).
4. Ivanov S.A., Dmitrieva O.F., Kulmakova N.I., Dimitriev Yu. O. Soil pollution from toxins of the Volga river shoreland in the area of Cheboksary hydropower station. *Ekologiya cheloveka*, 2016, no. 5, pp. 3–8 (in Russian).
5. Benhaddya M., Boukheikh A., Halis Y., Hadjel M. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2016, vol. 70, no. 3, pp. 556–571. DOI:10.1007/s00244-015-0244-6
6. Sardar K., Sadaf M., Muhammad S., Gang L. Urban park soil contamination by potentially harmful elements and human health risk in Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Journal of Geochemical Exploration*, 2016, vol. 165, pp. 102–110. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.03.007
7. Tilekova Z.T., Tonkopii M.S., Tastanova B.E. Evaluation of soil pollution by heavy metals in Balkhash region. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, no. 2, pp. 3723–3726 (in Russian).
8. Kolnet I.V., Studenikina E.M. Organization of monitoring of soil pollution level for risk assessment to child health. *Nauchno-meditsinskii vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*, 2017, no. 70, pp. 100–105 (in Russian).

© Deryabin A.N., Unguryanu T.N., Buzinov R.V., 2019

Aleksey N. Deryabin – Chief Expert at the Sanitary Surveillance Department; a post-graduate student (e-mail: deryabin-an@mail.ru; tel.: +7 (8182) 65-27-93; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1853-8947>).

Tatiana N. Unguryanu – Doctor of Medical Sciences, Associate professor, Chief Expert at the Organization and Maintenance Department; Professor at the Department for Hygiene and Medical Ecology (e-mail: unguryanu_tn@mail.ru; tel.: +7(8182) 21-04-61; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8936-7324>).

Roman V. Buzinov – Doctor of Medical Sciences, Associate professor, Supervisor; Professor at the Department for Hygiene and Medical Ecology (e-mail: arkh@29.rospotrebnadzor.ru; tel.: +7(8182) 20-05-69; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8624-6452>).

9. Kazantsev I.V., Matveeva T.B. Contents of heavy metals in the soil cover in the conditions of technogenesis. *Samarskii nauchnyi vestnik*, 2016, vol. 14, no. 1, pp. 34–37 (in Russian).
10. Sintsov A.V., Barmin A.N., Valov M.V. Dynamics of heavy metals in urboecosystems' soils. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*, 2014, vol. 55, no. 4, pp. 148–156 (in Russian).
11. Cai L.M., Xu Z.C., Qi J.Y., Feng Z.Z., Xiang T.S. Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near Tonglushan mine in Hubei, China. *Chemosphere*, 2015, vol. 127, pp. 127–135. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.01.027
12. Shcherbakov A.V., Shcherbakova V.N. Vliyanie na zdorov'e cheloveka zagryazneniya pochv. [Impacts exerted on human health by soil contamination]. *Aktual'nye problem estestvenno-nauchnogo obrazovaniya, zashchity okruzhayushchei sredy i zdorov'ya cheloveka: materialy IV Mezhdunarodnoi ochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Orel, Izdatel'stvo Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta im. I.S. Turgeneva Publ., 2016, vol. 4, no. 4, pp. 424–426 (in Russian).
13. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor of environmental pollution (review). *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2013, vol. 23, no. 1, pp. 182–192 (in Russian).
14. Sardar K., Hameed S., Afzal S., Fatima S., Shakoor M., Bharwana S., Tauqeer H. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. *Greener Journal of Environmental Management and Public Safety*, 2013, vol. 2 no. 4, pp. 172–179.
15. Ermolaeva S.V., Lavrushina E.E., Kurgaeva A.V. Assessment of soils pollution by heavy metals at territories of Ulyanovsk oblast. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, vol. 15, no. 3 (3), pp. 978–980 (in Russian).
16. Nikolaeva A.D. Ekologicheskie aspekty zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami [Ecological aspects related to soil contamination with heavy metals]. *Tatishchevskie chteniya. Aktual'nye problemy nauki i praktiki: materialy XIV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Tol'yatti, Volzhskii universitet imeni V.N. Tatishcheva, 2017, vol. 1, pp. 231–235 (in Russian).
17. Buzinov R.V., Kiku P.F., Unguryanu T.N., Yarygina M.V., Gudkov A.B. Ot Pomor'ya do Primor'ya: sotsial'no-gigienicheskie i ekologicheskie problem zdorov'ya naseleniya: monografiya [From the Pomorye to the Prymorye: social-hygienic and ecological issues related to human health: a monograph]. Arkhangelsk, Izdatel'stvo Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta Publ., 2016, 397 p. (in Russian).
18. Krasnoshchekov Yu.N. Microelements in the soils of the central Khangay pseudo-taiga larch forests in Mongolia. *Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 50-letiyu Instituta pochvovedeniya i agrokhimii Sibirskogo otdeleniya RAN*. In: A.I. Syso ed. Tomsk, 2018, pp. 47–51 (in Russian).
19. 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).
20. 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, no. 1, pp. 101–105 (in Russian).

Deryabin A.N., Unguryanu T.N., Buzinov R.V. Population health risk caused by exposure to chemicals in soils. Health Risk Analysis, 2019, no. 3, pp. 18–25. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.02.eng

Получена: 27.03.2019

Принята: 26.07.2019

Опубликована: 30.09.2019