

Научная статья

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, АССОЦИИРОВАННОГО С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ДЕПОНИРУЮЩИХ СРЕД ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

В.М. Боев, Л.В. Зеленина, Л.Х. Кудусова, Е.А. Кряжева, Д.О. Зеленин

Оренбургский государственный медицинский университет, Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Советская, 6

Загрязнение деponирующих сред, представляющих относительно устойчивую макросистему, которая формируется в результате длительной экспозиции контаминантов, находит отражение на состоянии здоровья населения, что особенно актуально для урбанизированных территорий с крупными градообразующими предприятиями. Проведена гигиеническая оценка канцерогенного риска для здоровья населения при экспозиции тяжелыми металлами, содержащимися в деponирующих средах.

Осуществлен многолетний анализ содержания тяжелых металлов в аккумулярующих средах – почве и продуктах питания – по результатам социально-гигиенического мониторинга и статистических отчетов Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области за 2005–2018 гг. Канцерогенный риск для здоровья населения оценивали в соответствии с Р 2.1.10.1920-04. По данным территориального сегмента национального Ракового регистра проанализирована онкологическая заболеваемость органов пищеварения за 2005–2018 гг. Для изучения взаимосвязи изучаемых факторов проведен корреляционный анализ.

Суммарный канцерогенный риск при многомаршрутном поступлении тяжелых металлов из деponирующих сред – почвы и пищевых продуктов – находится на неприемлемом уровне и составляет 1,5E-04. Суммарный популяционный канцерогенный риск от воздействия тяжелых металлов может достигать 85 дополнительных случаев злокачественных новообразований за период усреднения экспозиции – 70 лет.

Выявлены тяжелые металлы в почве, которые статистически достоверно влияют на возникновение злокачественных новообразований органов желудочно-кишечного тракта – никель, кадмий, хром VI. Установлена достоверная связь развития злокачественных новообразований органов пищеварения с концентрацией мышьяка в пищевых продуктах.

Превышений гигиенических нормативов по содержанию тяжелых металлов, обладающих канцерогенными свойствами в аккумуляющих средах – почве и продуктах питания, не зарегистрировано, что не исключает негативного влияния на здоровье в виде отдаленных последствий и развития злокачественных новообразований у населения.

Ключевые слова: загрязнение почвы, продукты питания, тяжелые металлы, канцерогены, заболеваемость, оценка канцерогенного риска, злокачественные новообразования органов пищеварения.

На уровне экосистем существуют две принципиально разные среды: транзитная (динамично изменяющаяся атмосфера и гидросфера) и деponирующая, дающая понимание о протяженных процессах во времени и пространстве (почва, горные породы, растительные и животные биосубстраты и т.д.) [1–4].

Загрязнение тяжелыми металлами почвенной среды и пищевых продуктов растительного и животного происхождения отражает длительный процесс кумуляции ксенобиотиков на экологически неблагоприятных территориях. Ухудшению экологического состояния аккумуляющих сред в крупных городах

© Боев В.М., Зеленина Л.В., Кудусова Л.Х., Кряжева Е.А., Зеленин Д.О., 2022

Боев Виктор Михайлович – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, заведующий кафедрой общей и коммунальной гигиены (e-mail: k_com.gig@orgma.ru; тел.: 8 (353) 250-06-06; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3684-1149>).

Зеленина Лариса Васильевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и коммунальной гигиены (e-mail: l.v.zelenina@orgma.ru; тел.: 8 (922) 621-39-31; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5701-0045>).

Кудусова Луиза Халимовна – ассистент кафедры общей и коммунальной гигиены (e-mail: salihova.luiza@bk.ru; тел.: 8 (353) 250-06-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4036-8873>).

Кряжева Елена Александровна – кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры общей и коммунальной гигиены (e-mail: kryazheva89@inbox.ru; тел.: 8 (353) 250-06-06; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3527-2068>).

Зеленин Даниил Олегович – студент V курса лечебного факультета (e-mail: Deni-1999@mail.ru; тел.: 8 (922) 803-65-88; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2511-6969>).

способствует интенсивный рост численности населения, развитие горнорудной, нефте- и газодобывающей промышленности, несанкционированное складирование твердых и сброс жидких отходов, неконтролируемое применение агрохимикатов, загрязнение атмосферного воздуха промышленными выбросами и выхлопными газами [5–10].

Почва является открытой системой урбололандшафтов, которая тесно связана с атмосферным воздухом, гидросферой и отражает антропогенную нагрузку транзитных сред, накапливая и трансформируя техногенные загрязняющие вещества [11–14].

По данным Роспотребнадзора по Оренбургской области, доля нестандартных проб по санитарно-химическим показателям почвы составляет 1–3 %, более неблагоприятная экологическая ситуация отмечается в Архангельской, Амурской областях. Тяжелые металлы, контаминирующие почву, влияют на популяцию как при непосредственном контакте с почвой, так и при поступлении токсикантов через сопряженные с почвой среды – атмосферный воздух, воду водоисточников, продукты питания, что диктует необходимость учета многомаршрутных путей поступления ксенобиотиков [15–17].

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами создает предпосылки для их миграции по пищевым цепям и накопления в продуктах питания, что вносит значимый вклад в химическую нагрузку на здоровье населения. По ранее проведенным исследованиям в Архангельской области, Республике Бурятия продукты питания, как правило, соответствуют гигиеническим требованиям, но даже отсутствие превышений нормативов по тяжелым металлам, обладающим канцерогенными свойствами, не гарантирует отсутствие рисков для здоровья [9, 18–21].

Параллельно химизации почвенной среды и продуктов питания сохраняется устойчивая тенденция роста заболеваемости барьерных систем, в том числе злокачественными новообразованиями органов пищеварения [22–24]. Опухоли желудка, ободочной кишки, прямой кишки занимают значительное место

в структуре онкозаболеваемости населения и имеют тенденцию к росту распространенности [25, 26].

Таким образом, гигиеническая оценка загрязнения депонирующих сред металлами, обладающими канцерогенными свойствами, и их влияние на здоровье представляется актуальным, учитывая и тот факт, что у данной группы веществ отсутствует порог безопасного действия, что не исключает развитие отдаленных эффектов.

Цель исследования – гигиеническая оценка канцерогенного риска для здоровья населения при экспозиции тяжелыми металлами, содержащимися в депонирующих средах.

Материалы и методы. Выполнена гигиеническая оценка содержания тяжелых металлов в почве (никель, кадмий, хром, кобальт, свинец) и пищевых продуктах (свинец, мышьяк, кадмий). В качестве источника данных мы использовали многолетние результаты социально-гигиенического мониторинга по г. Оренбургу, статистические отчеты Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области и государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области» за 2005–2018 гг.¹

В соответствии с СанПиН 2.1.3684-21² содержание потенциально опасных для человека химических веществ в почве не должно превышать гигиенические нормативы, поэтому анализ степени химического загрязнения почвы по содержанию подвижных и валовых форм тяжелых металлов (более 3780 проб) произведен согласно СанПиН 1.2.3685-21³ на территориях административных районов г. Оренбурга (Центрального, Ленинского, Дзержинского и Промышленного).

Суммарный показатель загрязнения почвы (Z_c) определяли согласно МУ 2.1.7.730-999⁴.

Анализ качества пищевых продуктов, как привозных, так и местного производства, осуществлялся в соответствии с техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС) 021/2011⁵ (более 1728 проб).

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области: Государственные доклады (за 2005–2018 гг.) [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области. – URL: <http://56.rospotreb-nadzor.ru/gosdoklady> (дата обращения: 11.07.2021).

² СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий [Электронный ресурс] / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 14.09.21).

³ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 14.09.21).

⁴ МУ 2.1.7.730-999. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы [Электронный ресурс] / утв. и введ. в действие Главным государственным санитарным врачом РФ 5 февраля 1999 г. // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения: 16.09.21).

⁵ ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции (с измен. на 14 июля 2021 г.) [Электронный ресурс] / утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 13.07.2021).

Канцерогенный риск для здоровья населения оценивали в соответствии с Р 2.1.10.1920-04⁶, МУ 2.3.7.2519-09⁷. Ретроспективный эпидемиологический анализ первичной заболеваемости населения онкологическими заболеваниями органов пищеварения проведен по данным территориального сегмента национального Ракового регистра за 2005–2018 гг. в разрезе административных районов г. Оренбурга.

Для установления причинно-следственных связей изучаемых показателей использован метод ранговой корреляции Спирмена. Сила связи расценивалась как слабая при диапазоне коэффициента корреляции $0,1 < R < 0,3$, умеренная – $0,3 < R < 0,5$, средняя – $0,5 < R < 0,7$.

Анализ статистических данных осуществлялся с помощью программного обеспечения Statistica 10, MS Excel for Windows.

Результаты и их обсуждение. Почва является основополагающей аккумулялирующей средой на пути миграции токсикантов. В связи с этим на сели-

тебной территории г. Оренбурга проведена гигиеническая оценка содержания в почве тяжелых металлов, которые отнесены к 1-й группе канцерогенов по классификации МАИР (никель, кадмий, хром (VI)) и группе 2А (кобальт, свинец), в четырех административных районах. Превышений гигиенических нормативов по содержанию в почве канцерогенов не зарегистрировано. Статистически достоверных различий в содержании подвижных и валовых форм тяжелых металлов по районам города не было выявлено (табл. 1).

Суммарный показатель загрязнения почвы (Z_c) во всех районах и в целом по городу относится к категории загрязнения «допустимая» ($Z_c < 16$).

Канцерогенный риск для здоровья населения, связанный с химическим загрязнением почвы, рассчитан с учетом ингаляционного, перорального и накожного путей поступления для подвижных форм тяжелых металлов, которые принимают активное участие в биологическом круговороте веществ (табл. 2).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почве (мг/кг) и доли превышения ПДК по административным районам г. Оренбурга

| Вещество | Административный район | | | | |
|------------------------|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Центральный | Ленинский | Дзержинский | Промышленный | Город |
| <i>Подвижные формы</i> | | | | | |
| Ni, $M \pm m$ | 2,29 ± 0,28 | 2,43 ± 0,46 | 1,97 ± 0,19 | 2,19 ± 0,22 | 2,22 ± 0,29 |
| Ni, доля ПДК | 0,57 | 0,61 | 0,49 | 0,55 | 0,56 |
| Pb, $M \pm m$ | 1,48 ± 0,27 | 2,07 ± 0,84 | 1,01 ± 0,33 | 1,07 ± 0,26 | 1,41 ± 0,42 |
| Pb, доля ПДК | 0,25 | 0,34 | 0,17 | 0,18 | 0,23 |
| Cd, $M \pm m$ | 0,06 ± 0,02 | 0,06 ± 0,03 | 0,06 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 |
| Cd, доля ПДК | –* | – | – | – | – |
| Co, $M \pm m$ | 0,49 ± 0,19 | 0,27 ± 0,14 | 0,30 ± 0,13 | 0,28 ± 0,09 | 0,34 ± 0,10 |
| Co, доля ПДК | 0,1 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 |
| Cr, $M \pm m$ | 0,26 ± 0,12 | 0,36 ± 0,13 | 0,51 ± 0,13 | 0,39 ± 0,14 | 0,31 ± 0,09 |
| Cr, доля ПДК | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,05 |
| <i>Валовые формы</i> | | | | | |
| Ni, $M \pm m$ | 63,39 ± 8,66 | 54,40 ± 6,38 | 54,57 ± 9,90 | 61,8 ± 6,26 | 59,25 ± 7,80 |
| Ni, доля ПДК | 0,79 | 0,68 | 0,68 | 0,77 | 0,74 |
| Pb, $M \pm m$ | 20,53 ± 8,33 | 14,38 ± 4,28 | 14,97 ± 2,45 | 11,7 ± 2,89 | 15,79 ± 4,49 |
| Pb, доля ПДК | 0,16 | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,12 |
| Cd, $M \pm m$ | 0,11 ± 0,03 | 0,08 ± 0,04 | 0,05 ± 0,02 | 0,08 ± 0,04 | 0,07 ± 0,03 |
| Cd, доля ПДК | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,04 |
| Co, $M \pm m$ | 4,26 ± 1,5 | 4,43 ± 0,87 | 6,12 ± 1,23 | 3,32 ± 0,88 | 4,43 ± 1,12 |
| Co, доля ПДК | 0,17 | 0,18 | 0,24 | 0,13 | 0,18 |
| Cr, $M \pm m$ | 72,85 ± 12,53 | 88,60 ± 10,33 | 77,20 ± 9,97 | 76,94 ± 4,18 | 76,97 ± 9,25 |
| Cr, доля ПДК | 0,73 | 0,89 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |

Примечание: * – ПДК для подвижной формы не установлена.

⁶ Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей природной среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения РФ, Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 20.06.21).

⁷ МУ 2.3.7.2519-09. 2.3.7. Состояние здоровья населения в связи с состоянием питания. Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население [Электронный ресурс] / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 5 июня 2009 г. // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080418> (дата обращения: 23.07.21).

Значения индивидуального и суммарного канцерогенного рисков, связанных с загрязнением почвы в административных районах г. Оренбурга

| Канцерогенный риск* | Административный район | | | | |
|---------------------|------------------------|-----------|-------------|--------------|----------|
| | Центральный | Ленинский | Дзержинский | Промышленный | Город |
| Ni, CR_{si} | 1,66E-10 | 1,82E-10 | 1,48E-10 | 1,64E-10 | 1,65E-10 |
| Ni, CR_{so} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ni, CR_{sd} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ni, CR_s | 1,66E-10 | 1,82E-10 | 1,48E-10 | 1,64E-10 | 1,65E-10 |
| Pb, CR_{si} | 5,26E-12 | 7,731E-12 | 3,78E-12 | 4,00E-12 | 5,19E-12 |
| Pb, CR_{so} | 4,32E-09 | 6,34E-09 | 3,10E-09 | 3,28E-09 | 4,26E-09 |
| Pb, CR_{sd} | 2,21E-09 | 3,26E-09 | 1,59E-09 | 1,68E-09 | 2,19E-09 |
| Pb, CR_s | 6,53E-09 | 9,61E-09 | 4,70E-09 | 4,97E-09 | 6,45E-09 |
| Cd, CR_{si} | 3,06E-11 | 3,11E-11 | 3,13E-11 | 2,42E-11 | 2,93E-11 |
| Cd, CR_{so} | 1,35E-09 | 1,38E-09 | 1,38E-09 | 1,07E-09 | 1,30E-09 |
| Cd, CR_{sd} | 6,95E-10 | 7,06E-10 | 7,10E-10 | 5,50E-10 | 6,65E-10 |
| Cd, CR_s | 2,08E-09 | 2,11E-09 | 2,13E-09 | 1,65E-09 | 1,99E-09 |
| Co, CR_{si} | 2,98E-10 | 2,35E-10 | 2,63E-10 | 2,46E-10 | 2,60E-10 |
| Co, CR_{so} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Co, CR_{sd} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Co, CR_s | 2,98E-10 | 2,35E-10 | 2,63E-10 | 2,46E-10 | 2,60E-10 |
| Cr, CR_{si} | 1,15E-09 | 1,35E-09 | 1,89E-09 | 1,44E-09 | 1,46E-09 |
| Cr, CR_{so} | 8,47E-09 | 9,87E-09 | 1,38E-08 | 1,06E-08 | 1,07E-08 |
| Cr, CR_{sd} | 4,34E-09 | 5,06E-09 | 7,10E-09 | 5,43E-09 | 5,49E-09 |
| Cr, CR_s | 1,40E-08 | 1,63E-08 | 2,28E-08 | 1,75E-08 | 1,76E-08 |
| SUM CR_s | 2,30E-08 | 2,84E-08 | 3,01E-08 | 2,45E-08 | 2,65E-08 |
| Ранг | 4 | 2 | 1 | 3 | – |

Примечание: * CR – индивидуальный дополнительный канцерогенный риск; индексы: si – ингаляционный путь поступления веществ, загрязняющих почву, so – пероральный путь поступления веществ, загрязняющих почву, sd – кожный путь поступления веществ, загрязняющих почву; SUM CR_s – суммарный канцерогенный риск при поступлении химических веществ с почвой.

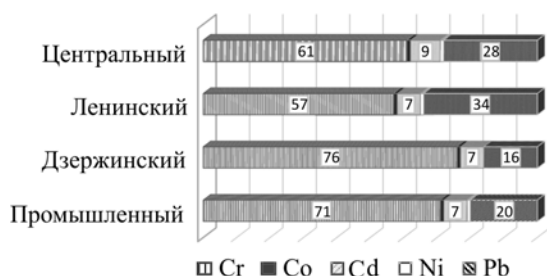


Рис. 1. Вклад приоритетных канцерогенов, поступающих с почвой, в структуру суммарного индивидуального канцерогенного риска по районам города, %

При сравнительной оценке суммарного канцерогенного риска SUM CR_s при многомаршрутном поступлении металлов с почвой установлено, что наибольшая величина данного показателя характерна для жителей Дзержинского района (3,01E-08), на втором месте – Ленинский район (2,84E-08), на третьем – Промышленный (2,45E-08), на четвертом – Центральный (2,30E-08). Величина суммарного канцерогенного риска при поступлении металлов с почвой достоверно не отличается по районам города и оценивается как пренебрежимо малая.

Установлены территориальные различия долевого вклада отдельных тяжелых металлов, которые поступают с почвой, в суммарный показатель канце-

рогенного риска, что обусловлено различным сосредоточением промышленных предприятий на территории города (рис. 1). Хром шестивалентный вносит наибольший вклад в величину суммарного канцерогенного риска во всех районах города с преобладанием в Дзержинском – 76 % и Промышленном – 71 %. По вкладу свинца в суммарный канцерогенный риск преобладают Ленинский и Центральный районы города – 34 и 28 % соответственно. Кадмий, кобальт и никель вносят примерно равный вклад в величину SUM CR_s во всех районах города.

Пероральный путь поступления токсикантов является одним из основополагающих, в связи с чем оценка химического состава, в особенности идентификация канцерогенов, представляется актуальной и в другой аккумулирующей среде – пищевых продуктах.

Среднегодовое содержание тяжелых металлов в продуктах питания на уровне медианы и 90-го перцентиля соответствует требованиям ТР ТС 021/2011⁵ по всем изучаемым параметрам (табл. 3).

При ранжировании основных групп продуктов по вкладу отдельных канцерогенных веществ в общую величину экспозиции установлено, что лидирующие ранговые позиции занимают: по контаминации кадмием – молоко и молочные продукты (34,8 %), мукомольно-крупяные и хлебобулочные изделия (30,9 %), плодоовощная продукция (25,9 %);

Содержание металлов-канцерогенов в продуктах питания, мг/кг

| Группа продуктов | Показатель | Кадмий | Свинец | Мышьяк |
|---|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Мукомольно-крупяные и хлебобулочные изделия | $M \pm m$ | 0,01189 ± 0,0021 | 0,00612 ± 0,00032 | 0,00577 ± 0,00042 |
| | Медиана | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | 90 % | 0,014 | 0,01 | 0,01 |
| Флодоовощная продукция | $M \pm m$ | 0,00597 ± 0,00081 | 0,00649 ± 0,00084 | 0,00746 ± 0,0026 |
| | Медиана | 0,01 | 0,01 | 0 |
| | 90 % | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Масложировая продукция | $M \pm m$ | 0,00065 ± 0,00028 | 0,00313 ± 0,00134 | 0,00103 ± 0,00055 |
| | Медиана | 0 | 0 | 0 |
| | 90 % | 0 | 0,0082 | 0 |
| Мясо и мясопродукты | $M \pm m$ | 0,00282 ± 0,00032 | 0,00456 ± 0,00125 | 0,00282 ± 0,00031 |
| | Медиана | 0 | 0 | 0 |
| | 90 % | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Молоко и молочные продукты | $M \pm m$ | 0,00528 ± 0,00034 | 0,0055 ± 0,00041 | 0,00524 ± 0,00034 |
| | Медиана | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | 90 % | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Рыбная продукция | $M \pm m$ | 0,0084 ± 0,00177 | 0,02858 ± 0,00675 | 0,09766 ± 0,01823 |
| | Медиана | 0 | 0,01 | 0,024 |
| | 90 % | 0,022 | 0,07 | 0,256 |

по содержанию свинца – молоко и молочные продукты (35,3 %), плодовоовощная продукция (27,4 %); по мышьяку – рыбная продукция (37,4 %).

С целью оценки вклада канцерогенных загрязнителей пищевых продуктов в риск развития онкологических заболеваний населения были рассчитаны значения индивидуальных канцерогенных рисков (табл. 4).

Суммарный канцерогенный риск при поступлении тяжелых металлов с пищевыми продуктами, рассчитанный по медиане, соответствует предельно допустимому риску, по 90-му перцентилю – неприемлем для населения, при этом наибольший удельный вес в суммарный канцерогенный риск вносит мышьяк (рис. 2).

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск при поступлении веществ с почвой и пищевыми продуктами в целом по городу неприемлем для населения – 1,5E-04 (90-й перцентиль). Суммарный популяционный канцерогенный риск для жителей города Оренбурга по 90-му перцентилю составил 85 дополнительных случаев к фоновому уровню онкологических заболеваний при экспозиции 70 лет.

На пути действия тяжелых металлов из депонирующих сред – почвы и продуктов питания – основную барьерную роль выполняет желудочно-кишечный тракт. Установлено, что по г. Оренбургу в структуре онкозаболеваемости в зависимости от района проживания злокачественные новообразования (ЗНО) органов пищеварения имеют значимый удельный вес – от 24 до 28 %. Ретроспективный анализ показал статистически достоверный рост заболеваемости ЗНО органов пищеварения за период изучения 2005–2018 гг. ($p \leq 0,05$) (рис. 3).

При ранжировании первичной заболеваемости ЗНО органов пищеварения по районам города первое ранговое место занимает Ленинский район,

второе – Дзержинский район, третье – Промышленный и четвертое – Центральный район, причем заболеваемость в Ленинском и Дзержинском районах достоверно выше, чем в среднем по г. Оренбургу ($p \leq 0,05$).

Таблица 4

Индивидуальные канцерогенные риски при поступлении тяжелых металлов с продуктами питания

| Вещество | SF_o^* | $ICRf^{**} med$ | $ICRf^{90\%}$ |
|-----------------|----------|-----------------|---------------|
| Кадмий | 0,38 | 1,6E-05 | 2,0E-05 |
| Свинец | 0,047 | 2,0E-06 | 2,7E-06 |
| Мышьяк | 1,5 | 4,8E-05 | 1,3E-04 |
| $SUM CRI^{***}$ | – | 6,5E-05 | 1,5E-04 |
| PCR^{****} | – | 36 | 85 |

Примечание: * – фактор наклона для перорального пути поступления; ** – индивидуальный канцерогенный риск при поступлении химических веществ с продуктами питания; *** – суммарный канцерогенный риск при поступлении химических веществ с продуктами питания, **** – популяционный канцерогенный риск.

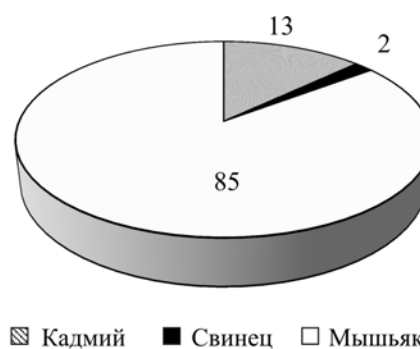


Рис. 2. Структура суммарного канцерогенного риска по 90-му перцентилю при поступлении канцерогенных металлов с пищевыми продуктами, %

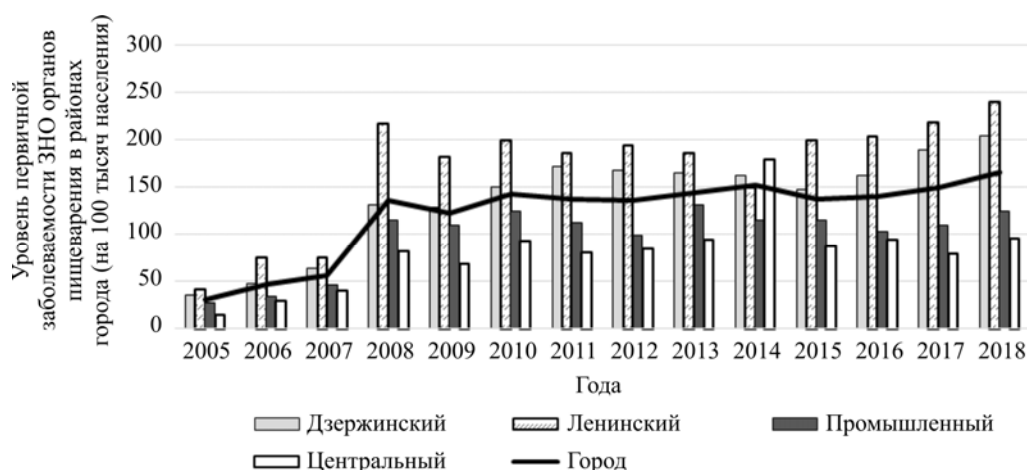


Рис. 3. Динамика первичной заболеваемости злокачественными новообразованиями органов пищеварения (на 100 тысяч населения) по районам г. Оренбурга за 2005–2018 гг.

Рассчитанные коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (R) позволили дифференцировать металлы-канцерогены в почве и продуктах питания, влияющие на развитие ЗНО органов пищеварения. Заболеваемость ЗНО органов пищеварения имеет прямую корреляционную статистически значимую связь с концентрацией в почве никеля (подвижная форма) ($R = 0,33$ для ЗНО пищевода; $R = 0,35$ для ЗНО желудка), кадмия (валовая форма) ($R = 0,5$ для ЗНО ободочной кишки), хрома ($R = 0,55$ для ЗНО прямой кишки; $R = 0,53$ для ЗНО желчного пузыря и внепеченочных протоков; $R = 0,5$ для ЗНО поджелудочной железы). Установлена статистически достоверная связь развития злокачественных новообразований печени и внутрипеченочных протоков, желчного пузыря и внепеченочных протоков, поджелудочной железы с концентрацией мышьяка в пищевых продуктах ($R = 0,71$, $R = 0,63$ и $R = 0,45$ соответственно) (табл. 5).

Выводы. Суммарный канцерогенный риск при многомаршрутном поступлении тяжелых металлов из депонирующих сред – почвы и пищевых продуктов находится на неприемлемом уровне и составляет $1,5E-04$. Суммарный популяционный канцерогенный риск от воздействия тяжелых металлов может достигать 85 дополнительных случаев злокачественных новообразований за период усреднения экспозиции – 70 лет.

Выявлены канцерогенные тяжелые металлы в почве, которые статистически достоверно влияют на возникновение ЗНО органов пищеварения: никель (подвижная форма) – ЗНО пищевода и желудка, кадмий (валовая форма) – ЗНО ободочной кишки, хром VI (подвижные и валовые формы) – ЗНО желчного пузыря, внепеченочных протоков и поджелудочной железы.

Установлена статистически достоверная связь развития злокачественных новообразований печени и внутрипеченочных протоков, желчного пузыря

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между уровнем первичной заболеваемости ЗНО органов пищеварения и химической канцерогенной нагрузкой почвы и пищевых продуктов

| Локализация | Канцерогены | Коэффициент Спирмена R |
|--|----------------|--------------------------|
| <i>Почва</i> | | |
| ЗНО пищевода | Никель (подв.) | 0,33* |
| ЗНО желудка | Никель (подв.) | 0,35* |
| ЗНО желудка | Кобальт (вал.) | 0,51 |
| ЗНО желудка | Хром (вал.) | 0,8 |
| ЗНО ободочной кишки | Кадмий (вал.) | 0,5* |
| ЗНО прямой кишки | Хром (вал.) | 0,55* |
| ЗНО печени и внутрипеченочных протоков | Хром (вал.) | 0,41 |
| ЗНО желчного пузыря и внепеченочных протоков | Хром (подв.) | 0,53* |
| ЗНО поджелудочной железы | Хром (подв.) | 0,5* |
| <i>Пищевые продукты</i> | | |
| ЗНО ободочной кишки | Кадмий | 0,31 |
| ЗНО желудка | Свинец | 0,32 |
| ЗНО печени и внутрипеченочных протоков | Мышьяк | 0,71* |
| ЗНО желчного пузыря и внепеченочных протоков | Мышьяк | 0,63* |
| ЗНО поджелудочной железы | Мышьяк | 0,45* |

Примечание: * – уровень статистической значимости: $p < 0,05$.

и внепеченочных протоков, поджелудочной железы с концентрацией мышьяка в пищевых продуктах ($R = 0,71$, $R = 0,63$ и $R = 0,45$ соответственно).

Таким образом, отсутствие превышений гигиенических нормативов по содержанию тяжелых металлов, обладающих канцерогенными свойствами, в аккумулирующих средах – почве и продуктах питания не исключает негативного влияния на здоровье

в виде отдаленных последствий и развития злокачественных новообразований у населения.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Ассоциации производителей и поставщиков сантехники.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Каргаполов Н.В. Геохимические исследования в городских экосистемах // Социально-экологические технологии. – 2016. – № 3. – С. 31–37.
2. Оценка состояния почв и растительности в районах размещения свалок и полигонов твердых бытовых отходов (обзор) / И.В. Замотаев, И.В. Иванов, П.В. Михеев, В.П. Белобров // Почвоведение. – 2018. – № 7. – С. 907–924. DOI: 10.1134/S0032180X18070109
3. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs / J.L. Edmondson, I. Stott, Z.G. Davies, K.J. Gaston, J.R. Leake // Sci. Rep. – 2016. – Vol. 6, № 1. – P. 33708. DOI: 10.1038/srep33708
4. 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
5. Жарикова Е.А. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и экологического риска // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 1. – С. 164–173. DOI: 10.18799/24131830/2021/1/3009
6. Современные особенности контаминации тяжелыми металлами пищевых продуктов, произведенных из местного сырья в экокризисном регионе / С.В. Грищенко, И.С. Грищенко, В.С. Костенко, А.В. Зорькина, Д.Г. Минаков, К.А. Якимова // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2017. – Т. 21, № 4. – С. 283–287.
7. Deposition of mercury in forests across a montane elevation gradient: Elevational and seasonal patterns in methylmercury inputs and production / J.R. Gerson, C.T. Driscoll, J.D. Demers, A.K. Sauer, B.D. Blackwell, M.R. Montesdeoca, J.B. Shanley, D.S. Ross // JGR Biogeosciences. – 2017. – Vol. 122, № 8. – P. 1922–1939. DOI: 10.1002/2016JG003721
8. Еремин В.Н., Решетников М.В., Шешнев А.С. Влияние полигонов захоронения отходов в Саратовской области на санитарное состояние почв // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 2. – С. 117–121. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-2-117-121
9. Оценка качества среды обитания и рисков для здоровья населения г. Закаменска – территории длительного хранения отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината / С.А. Вековщина, С.В. Клейн, С.С. Ханхареев, Л.В. Макарова, Е.В. Мадеева, А.А. Болошинова // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 15–20. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-15-20
10. Urban park soil contamination by potentially harmful elements and human health risk in Peshawar city, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan / S. Khan, S. Munir, M. Sajjad, G. Li // Journal of Geochemical Exploration. – 2016. – Vol. 165. – P. 102–110. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.03.007
11. Chromium and nickel migration study through fine grained soil / S. Kumar, S. Ghosh, S. Mukherjee, S. Sarkar // J. Hazard. Mater. – 2009. – Vol. 170, № 2–3. – P. 1192–1196. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.097
12. Химическое загрязнение почв города Таганрога как фактор риска для здоровья населения / Г.Т. Айдинов, Б.И. Марченко, Л.А. Дерябкина, Ю.А. Синельникова // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 1. – С. 13–20. DOI: 10.21668/health.risk/2017.1.02
13. Риск загрязнения почв тяжелыми металлами через газопылевые выбросы / В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина, А.К. Арабский // Проблемы анализа риска. – 2019. – Т. 16, № 1. – С. 42–49. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-42-49
14. Каверина Н.В. Трансформация городских почв под влиянием техногенных воздействий // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 4. – С. 113–117. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-14113
15. Дерябин А.Н., Унгуриян 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
16. Радомская В.И., Бородина Н.А. Оценка антропогенного загрязнения почвы урбанизированной территории на примере города Благовещенска // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 6. – С. 79–93. DOI: 10.31857/S0869-78092019679-93
17. Al-Saleh I., Abduljabbar M. Heavy metals (lead, cadmium, methylmercury, arsenic) in commonly imported rice grains (*Oryza sativa*) sold in Saudi Arabia and their potential health risk // Int. J. Hyg. Environ. Health. – 2017. – Vol. 220, № 7. – P. 1168–1178. DOI: 10.1016/j.ijheh.2017.07.007
18. Лыжина А.В., Унгуриян Т.Н., Родиманов А.В. Риск здоровью населения при воздействии тяжелых металлов, загрязняющих продовольственное сырье и пищевые продукты // Здоровье населения и среда обитания. – 2018. – Т. 304, № 7. – С. 4–7. DOI: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7
19. Cancer mortality and exposure to nickel and chromium compounds in a cohort of Italian electroplaters / V. Sciannameo, F. Ricceri, S. Soldati, C. Scarnato, A. Gerosa, G. Giacomozzi, A. d'Errico // Am. J. Ind. Med. – 2019. – Vol. 62, № 2. – P. 99–110. DOI: 10.1002/ajim.22941
20. Научно-методические аспекты и практический опыт формирования доказательной базы причинения вреда здоровью населения в зоне влияния отходов прошлой экономической деятельности / Н.В. Зайцева, И.В. Май,

С.В. Клейн, С.С. Ханхареев, А.А. Болошинова // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1038–1044. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044

21. 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

22. Сивухин А.Н., Марков Д.С., Борисова Е.А. Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на здоровье населения Ивановской и Костромской областей // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 3. – С. 81–87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13081

23. Сравнительный анализ химического загрязнения продуктов питания и показателей здоровья детского населения в Российской Федерации / Ю.Л. Тихонова, О.Ю. Милушкина, М.В. Калиновская, Л.М. Симкалова // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – Т. 322, № 1. – С. 13–18. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-322-1-13-18

24. Loud J.T., Murphy J. Cancer Screening and Early Detection in the 21st Century // Semin. Oncol. Nurs. – 2017. – Vol. 33, № 2. – P. 121–128. DOI: 10.1016/j.soncn.2017.02.002

25. Состояние и тенденции основных показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями в Оренбургской области в 2010-е годы / Е.Л. Борщук, Д.Н. Бегун, А.В. Климушкин, Т.В. Бегун, А.М. Куланова // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 6. – С. 127. – DOI: 10.17513/spno.30281

26. Hochberg M.E., Noble R.J. A framework for how environment contributes to cancer risk // Ecol. Lett. – 2017. – Vol. 20, № 2. – P. 117–134. DOI: 10.1111/ele.12726

Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, ассоциированного с загрязнением депонирующих сред тяжелыми металлами / В.М. Боев, Л.В. Зеленина, Л.Х. Кудусова, Е.А. Кряжева, Д.О. Зеленин // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 17–26. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.02

UDC 613.26; 614.3; 614.7

DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.02.eng



Research article

HYGIENIC ASSESSMENT OF CARCINOGENIC HEALTH RISKS ASSOCIATED WITH CONTAMINATION OF DEPOSITING MEDIA WITH HEAVY METALS

V.M. Boev, L.V. Zelenina, L.H. Kudusova, E.A. Kryazheva, D.O. Zelenin

The Orenburg State Medical University, 6 Sovetskaya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation

In nature there are depositing media which are relatively stable macrosystems. Their contamination that occurs due to long-term exposure to contaminants influences population health and this is especially vital for urbanized territories with large city-forming enterprises.

Our research goal was to perform hygienic assessment of carcinogenic risks for population health under exposure to heavy metals contained in depositing media.

© Boev V.M., Zelenina L.V., Kudusova L.H., Kryazheva E.A., Zelenin D.O., 2022

Victor M. Boev – Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored scientist of the RF, Honored worker of the higher education in the Russian Federation, Head of the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: k_com.gig@orgma.ru; tel.: +7 (353) 250-06-06; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3684-1149>).

Larisa V. Zelenina – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: l.v.zelenina@orgma.ru; tel.: +7 (922) 621-39-31; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5701-0045>).

Luiza Kh. Kudusova – assistant lecturer at the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: salihova.luiza@bk.ru; tel.: +7 (353) 250-06-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4036-8873>).

Elena A. Kryazheva – Candidate of Medical Sciences, Senior lecturer at the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: kryazheva89@inbox.ru; tel.: +7 (353) 250-06-06; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3527-2068>).

Daniil O. Zelenin – a fifth-year student of the Faculty of Medicine (e-mail: Deni-1999@mail.ru; tel.: +7 (922) 803-65-88; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2511-6969>).

We analyzed long-term data on contents of heavy metals in such accumulating media as soils and foods collected in 2005–2018. The data were taken from the reports on social and hygienic monitoring and statistical reports provided by the Orenburg Regional Office of the Federal State Statistics Service. Carcinogenic risks were assessed in accordance with the Guide R 2.1.10.1920-04. We used data provided by the territorial section of the National Cancer Registry to analyze prevalence of oncologic diseases of the digestive organs. We performed correlation analysis to examine correlations between the analyzed factors.

The total carcinogenic risk under multi-route introduction of heavy metals from such depositing media as soils and foods has turned out to be unacceptable and amounts to $1.5E-04$. The total population carcinogenic risk caused by exposure to heavy metals can reach 85 additional cases of malignant neoplasms over an averaged exposure period which is equal to 70 years.

Heavy metals were detected in soils, nickel, cadmium, and chromium VI included, that produced statistically authentic effects on occurrence of malignant neoplasms in the digestive organs.

We established an authentic correlation between developing malignant neoplasms in the digestive organs and concentrations of arsenic in foods.

We didn't detect any heavy metals with carcinogenic properties in such accumulating media as soils and foods in concentrations deviating from hygienic standards. But still, it doesn't mean there is no negative influence on population health, notably long-term effects and developing malignant neoplasms

Key words: soil contamination, foods, heavy metals, carcinogens, morbidity, carcinogenic risk assessment, malignant neoplasms of the digestive organs.

References

1. Kargapolov N.V. Geochemical studies in city ecosystems. *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii*, 2016, no. 3, pp. 31–37 (in Russian).
2. Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Belobrov V.P. Assessment of the state of soils and vegetation in areas of landfills and municipal solid waste sites (a review). *Eurasian soil science*, 2018, vol. 51, no. 7, pp. 827–842. DOI: 10.1134/S1064229318070104
3. Edmondson J.L., Stott I., Davies Z.G., Gaston K.J., Leake J.R. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. *Sci. Rep.*, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 33708. DOI: 10.1038/srep33708
4. 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
5. Zharikova E.A. Assessment of heavy metals content and environmental risk in urban soils. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2021, vol. 332, no. 1, pp. 164–173. DOI: 10.18799/24131830/2021/1/3009 (in Russian).
6. Grishchenko S.V., Grishchenko I.S., Kostenko V.S., Zor'kina A.V., Minakov D.G., Yakimova K.A. Sovremennye osobennosti kontaminatsii tyazhelymi metallami pishchevykh produktov, proizvedennykh iz mestnogo syr'ya v ekokrizisnom regione [Contemporary peculiarities of contamination with heavy metals of food products produced from local raw materials in the ecocrisis region]. *Vestnik gigieny i epidemiologii*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 283–287 (in Russian).
7. Gerson J.R., Driscoll C.T., Demers J.D., Sauer A.K., Blackwell B.D., Montesdeoca M.R., Shanley J.B., Ross D.S. Deposition of mercury in forests across a montane elevation gradient: Elevational and seasonal patterns in methylmercury inputs and production. *JGR Biogeosciences*, 2017, vol. 122, no. 8, pp. 1922–1939. DOI: 10.1002/2016JG003721
8. Eremin V.N., Reshetnikov M.V., Sheshnev A.S. Impact of waste landfills in the Saratov region on the sanitary condition of the soil. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 2, pp. 117–121. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-2-117-121 (in Russian).
9. Vekovshina S.A., Kleyn S.V., Hankhareev S.S., Makarova L.V., Madeeva E.V., Boloshinova A.A. The assessment of environmental quality and risks for the population of the city of Zakamensk – territory of long-term storage of waste of Dzhidinsky tungsten-molybdenum combine. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 1, pp. 15–20. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-15-20 (in Russian).
10. Khan S., Munir S., Sajjad M., Li G. 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
11. Kumar S., Ghosh S., Mukherjee S., Sarkar S. Chromium and nickel migration study through fine grained soil. *J. Hazard. Mater.*, 2009, vol. 170, no. 2-3, pp. 1192–1196. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.097
12. Aydinov G.T., Marchenko B.I., Deryabkina L.A., Sinelnikova Yu.A. Chemical factors of soil pollution in Taganrog as population health risk factors. *Health Risk Analysis*, 2017, no. 1, pp. 13–20. DOI: 10.21668/health.risk/2017.1.02.eng
13. Bashkin V.N., Galiulin R.V., Galiulina R.A., Arabsky A.K. Risk of soil contamination by heavy metals through gas-dust emissions. *Problemy analiza riska*, 2019, vol. 16, no. 1, pp. 42–49. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-42-49 (in Russian).
14. Kaverina N.V. Transformation of urban soils under technogenic impacts. *Problemy regional'noi ekologii*, 2020, no. 4, pp. 113–117. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-14113 (in Russian).
15. 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
16. Radomskaya V.I., Borodina N.A. Assessment of anthropogenic contamination in an urban territory by the example of Blagoveshchensk city. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2019, no. 6, pp. 79–93. DOI: 10.31857/S0869-78092019679-93 (in Russian).
17. Al-Saleh I., Abduljabbar M. Heavy metals (lead, cadmium, methylmercury, arsenic) in commonly imported rice grains (*Oryza sativa*) sold in Saudi Arabia and their potential health risk. *Int. J. Hyg. Environ. Health.*, 2017, vol. 220, no. 7, pp. 1168–1178. DOI: 10.1016/j.ijheh.2017.07.007

18. Lyzhina A.V., Unguryanu T.N., Rodimanov A.V. Health risk assessment associated with contamination by heavy metals of food products. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2018, no. 7 (304), pp. 4–7. DOI: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7 (in Russian).

19. Ciannameo V., Ricceri F., Soldati S., Scarnato C., Gerosa A., Giacomozzi G., d'Errico A. Cancer mortality and exposure to nickel and chromium compounds in a cohort of Italian by electroplaters. *Am. J. Ind. Med.*, 2019, vol. 62, no. 2, pp. 99–110. DOI: 10.1002/ajim.22941

20. Zaitseva N.V., May I.V., Klein S.V., Khankharev S.S., Boloshinova A.A. Scientific and methodological aspects and practical experience for the formation of the evidential base of hazard to health in the population in the zone of influence of waste from the past economic activity. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 11, pp. 1038–1044. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044 (in Russian).

21. 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

22. Sivukhin A.N., Markov D.S., Borisova E.A. Influence of soil contamination with heavy metals on the population health of the Ivanovo and Kostroma regions. *Problemy regional'noi ekologii*, 2019, no. 3, pp. 81–87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13081 (in Russian).

23. Tikhonova Yu.L., Milushkina O.Yu., Kalinovskaya M.V., Simkalova L.M. The comparative analysis of chemical contamination of food and children's health indices in the Russian Federation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2020, vol. 322, no. 1, pp. 13–18. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-322-1-13-18 (in Russian).

24. Loud J.T., Murphy J. Cancer Screening and Early Detection in the 21st Century. *Semin. Oncol. Nurs.*, 2017, vol. 33, no. 2, pp. 121–128. DOI: 10.1016/j.soncn.2017.02.002

25. Borschuk E.L., Begun D.N., Klimushkin A.V., Begun T.V., Kulanova A.M. Status and trends of main indicators cancer incidence in the Orenburg region in the 2010s. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2020, no. 6, pp. 127. DOI: 10.17513/spno.30281

26. Hochberg M.E., Noble R.J. A framework for how environment contributes to cancer risk. *Ecol. Lett.*, 2017, no. 20, pp. 117–134. DOI: 10.1111/ele.12726

Boev V.M., Zelenina L.V., Kudusova L.H., Kryazheva E.A., Zelenin D.O. Hygienic assessment of carcinogenic health risks associated with contamination of depositing media with heavy metals. Health Risk Analysis, 2022, no. 1, pp. 17–26. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.02.eng

Получена: 18.11.2021

Одобрена: 08.02.2022

Принята к публикации: 11.03.2022