

УДК 797.212.071.5:614.8.027.1+615.277

КАНЦЕРОГЕННЫЙ И НЕКАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОТРЕБЛЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ И ОВОЩЕЙ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В ПРЕДЕЛАХ АГРОСЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Т. Н. МЫСЛЫВА¹⁾, О. Н. ЛЕВШУК¹⁾

¹⁾Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки, Могилевская обл., Беларусь

Одним из действенных методов предупреждения опасности, обусловленной воздействием канцерогенных и неканцерогенных химических веществ на человека, является установление риска наступления нежелательных эффектов с целью дальнейшей разработки методов его минимизации. Цель настоящего исследования – установление величины неканцерогенного и канцерогенного риска, обусловленного поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, а также при попадании контаминантов в организм человека пероральным, ингаляционным и перкутаным путем непосредственно из почвы.

Установлено, что максимальный вклад в экспозицию Cu, Zn, Mn и Cd, поступающих в организм взрослого населения г. Горки, вносят свекла столовая, картофель и капуста белокочанная. Для детского населения максимальный вклад в экспозицию Cu и Cd вносят морковь столовая и картофель, а основным источником поступления в организм Zn, Mn и Pb являются картофель и капуста белокочанная. Суммарный уровень канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля и овощей в течение жизни за счет таких канцерогенов, как Pb и Cd, по международной критериальной шкале оценивается как средний, неканцерогенный риск для здоровья взрослого и детского населения вследствие

Образец цитирования:

Мыслыва ТН, Левшук ОН. Канцерогенный и неканцерогенный риск для населения от потребления картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2021;4:65–75.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-4-65-75>

For citation:

Myslyva TN, Levshuk ON. Carcinogenic and non-carcinogenic risk for the population from the consumption of potatoes and vegetables growing within the limits of agro-residential landscapes. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021;4:65–75. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-4-65-75>

Авторы:

Тамара Николаевна Мыслыва – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий кафедрой геодезии и фотограмметрии.
Оксана Николаевна Левшук – аспирант кафедры кадастра и земельного права.

Authors:

Tamara N. Myslyva, doctor of science (agriculture), docent; head of the department of geodesy and photogrammetry.
byrty41@yahoo.com
Oksana N. Levshuk, graduate student at the department of cadaster and land law.
levshuk-2011@mail.ru

ингаляционного, перорального и перкутанного поступления тяжелых металлов из загрязненной почвы оценивается как ничтожно малый, а канцерогенный риск находится на допустимом уровне.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы для разработки стратегии управления риском для населения вследствие загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами, предусматривающей последовательное прохождение следующих этапов: сравнительная оценка и ранжирование риска; определение уровней приемлемости риска; снижение и контроль риска; реагирование на риск.

Ключевые слова: картофель; овощи; тяжелые металлы; население; канцерогенный и неканцерогенный риск.

CARCINOGENIC AND NON-CARCINOGENIC RISK FOR THE POPULATION FROM THE CONSUMPTION OF POTATOES AND VEGETABLES GROWING WITHIN THE LIMITS OF AGRO-RESIDENTIAL LANDSCAPES

T. N. MYSLYVA^a, O. N. LEVSHUK^a

^aBelarussian State Agricultural Academy,
5 Michurina Street, Gorki 220030, Mogilev Region, Belarus
Corresponding author: T. N. Myslyva (byrty41@yahoo.com)

One of the most effective methods of preventing the danger caused by the impact of carcinogenic and non-carcinogenic chemicals on humans is to establish the risk of undesirable effects in order to further development methods to minimize it. The purpose of this study is to establish the magnitude of the non-carcinogenic and carcinogenic risk caused by the intake of heavy metals when consuming potatoes and vegetables grown within the agro-residential landscapes of Gorki, as well as when contaminants enter the human body by the oral, inhalation and percutaneous route directly from the soil.

It has been established that the maximum contribution to the exposure of Cu, Zn, Mn and Cd entering the body of the adult population of the city of Gorki is made by beetroot, potatoes and white cabbage. Table carrots and potatoes make the maximum contribution to the exposure of Cu and Cd for the child population, while the main sources of Zn, Mn, and Pb intake are potatoes and white cabbage. The total level of carcinogenic risk from the consumption of potatoes and vegetables due to such carcinogens as Pb and Cd is estimated as average according to the international criterion scale. The non-carcinogenic risk to the health of both adults and children due to inhalation, oral and percutaneous intake of heavy metals from contaminated soil is assessed as negligible, and the carcinogenic risk is at an acceptable level.

The results of the studies performed can be used to develop a risk management strategy for the population due to pollution of urban soils, potatoes and vegetables with heavy metals, providing for the sequential passage of the following stages: comparative assessment and ranking of risk; determination of risk acceptability levels; risk reduction and control; response to risk.

Keywords: potatoes; vegetables; heavy metals; population; carcinogenic and non-carcinogenic risk.

Введение

Среди глобальных экологических проблем одной из наиболее актуальных в условиях современного экологического кризиса является загрязнение биосферы. Доказано, что более 90 % всех болезней человека прямо или косвенно связаны с окружающей средой, которая выступает либо причиной возникновения заболеваний, либо непосредственно способствует их развитию. Однако наиболее опасным свойством загрязняющих веществ является их способность вызывать появление злокачественных новообразований [1]. Заболеваемость злокачественными новообразованиями в Республике Беларусь, как и во всем мире, с каждым годом неуклонно растет, а ежегодный прирост составляет примерно 1000 новых случаев. Ежегодно от злокачественных новообразований в стране умирает свыше 13 тыс. городских и свыше 5 тыс. сельских жителей, и этот показатель имеет устойчивую тенденцию к росту¹. Установлено, что 85–90 % всех случаев возникновения рака определяется влиянием канцерогенов окружающей среды: из них 70–80 % связывают с химическими и 10 % – с радиационными факторами [2]. Среди химических веществ с наиболее высокой степенью канцерогенности выделяют полициклические ароматические углеводороды, нитрозамины и тяжелые металлы [3]. Одним из действенных методов предупреждения опасности, обусловленной воздействием канцерогенных и неканцерогенных химических веществ на человека, является установление риска наступления нежелательных эффектов с целью дальнейшей разработки методов его минимизации. Вопросам анализа структурной нагрузки канцерогенов и неканцерогенных контаминантов на население

¹Здравоохранение в Республике Беларусь: офиц. стат. сб. Минск: ГУ РНПЦ МТ, 2019.

посвящены многие зарубежные исследования [4–7], однако для условий Беларуси, в частности для территории малых городов, они не проводились.

Исходя из этого, целью настоящего исследования стало установление степени неканцерогенного и канцерогенного риска, обусловленного поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, а также при попадании контаминантов в организм человека пероральным, ингаляционным и перкутаным путем непосредственно из почвы. Задачи изучения предусматривали: 1) определение величины экспозиции химическими контаминантами на уровне медианы и 90-го перцентиля жителей г. Горки и установление вклада отдельных сельскохозяйственных культур в общую экспозицию контаминантами; 2) выявление неканцерогенного и канцерогенного риска для населения вследствие употребления в пищу картофеля и овощей, загрязненных тяжелыми металлами, а также посредством попадания контаминантов из загрязненной почвы пероральным, ингаляционным и перкутаным путем; 3) разработка стратегии управления риском для населения г. Горки вследствие загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнялись в течение 2017–2021 гг. в пределах индивидуальной жилой застройки микрорайонов «Заречье», «Слобода» и «Академия», а также садовых товариществ «Труд», «Иваново», «Яблонька», «Верхнее озеро» и «Садовод», находящихся в пределах административной границы г. Горки Могилевской обл., жители которых занимаются индивидуальным огородничеством и садоводством, и употребляя в пищу получаемую растениеводческую продукцию. Оценка величины канцерогенного и неканцерогенного риска выполняли по общепринятым методикам.

Оценка риска развития неканцерогенных эффектов осуществлялась посредством сравнения фактических уровней экспозиции контаминантов с безопасными уровнями воздействия (референтными дозами) и расчета коэффициента опасности (HQ), выражающего отношение оцененной дозы контаминанта к допустимой. Оценка риска развития неканцерогенных эффектов при комплексном воздействии тяжелых металлов проводилась посредством расчета индекса опасности (HI) как суммы коэффициентов опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих химических веществ².

Расчет степени индивидуального канцерогенного риска (ICR) выполнялся посредством умножения среднесуточной дозы поступления канцерогена в организм человека на фактор наклона (SF), характеризующий степень нарастания канцерогенного риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу и отражающий верхнюю, консервативную оценку канцерогенного риска за ожидаемую продолжительность жизни человека (70 лет). Величина популяционного канцерогенного риска (PCR) определялась как произведение индивидуального канцерогенного риска на численность исследуемой популяции³.

Для оценки риска для здоровья населения вследствие ингаляционного, перорального и перкутанного поступления тяжелых металлов из загрязненной почвы использовали методику оценки рисков, разработанную Агентством по охране окружающей среды США⁴. Средняя дневная доза (ADD – мг/кг массы тела/день) для трех возможных путей воздействия (проглатывание, контакт с кожей и вдыхание) оценивалась с использованием уравнений (1), (2) и (3), а факторы воздействия, используемые для расчетов, приведены в табл. 1:

$$ADD_{ing} = (C \cdot Ring \cdot CF \cdot ED) / (BW \cdot AT), \quad (1)$$

$$ADD_{inh} = (C \cdot Rin_h \cdot EF \cdot ED) / (PEF \cdot BW \cdot AT), \quad (2)$$

$$ADD_{derm} = (C \cdot SA \cdot CF \cdot SL \cdot ABS \cdot ED) / (BW \cdot AT), \quad (3)$$

где ADD_{ing} – суточное количество металлов, поступающее в организм человека пероральным путем;

ADD_{inh} – суточное количество металлов, поступающее в организм человека ингаляционным путем;

ADD_{derm} – суточное количество металлов, поступающих в организм человека при накожном воздействии.

²Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население: метод. указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010.

³Рахманин Ю. А., Новиков С. М., Шашина Т. А. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004; Методика оценки риска здоровью населения факторов среды обитания: инструкция по применению № 025-1211 от 08.06.2012 г. Минск: Республиканский научно-практический центр гигиены, 2012.

⁴Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I. Part A. Human health evaluation manual. Washington: US Environmental Protection Agency; 1989.

Факторы экспозиции для дозовых моделей, используемые для оценки риска для здоровья населения от загрязненных тяжелыми металлами урбаноземов на территории г. Горки

Table 1

Exposure factors for dose models that were used to assess the risk to public health from heavy metal contaminated urban soils in Gorki

Фактор экспозиции	Характеристика фактора экспозиции	Единица измерения	Значение фактора экспозиции	
			дети	взрослые
C	Содержание тяжелого металла в почве	мг/кг	–	–
R _{ing}	Скорость всасывания из почвы	мг/день	200	100
EF	Частота воздействия	дней/год	180	180
ED	Продолжительность хронического воздействия	лет	6	24
BW	Средняя масса тела	кг	15	70
AT	Среднее время неканцерогенного воздействия	дней	365 · ED	
CF	Коэффициент преобразования	кг/мг	1 · 10 ⁻⁶	
R _{inh}	Скорость ингаляции	м ³ /день	7,6	20
PEF	Коэффициент выбросов частиц пыли	м ³ /кг	1,36 · 10 ⁹	
SA	Площадь поверхности кожи, контактирующей с пылью	см ²	2800	5700
SL	Адгезионный фактор	мг/см ²	0,07	0,2
ABS	Фактор кожной абсорбции (химический специфический)	–	0,001	
AT	Среднее время канцерогенного воздействия	дней	25,550 (365 дней * 70 лет)	
F	Доля местных потенциально загрязненных продуктов в суточном рационе	–	1	

Информация о годовом потреблении картофеля и овощей взрослыми получена из приказа Министерства здравоохранения Российской Федерации № 614 от 19 августа 2016 г. «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям»⁵, а сведения о годовом потреблении картофеля и овощей детьми – с официального сайта Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по продовольствию⁶.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка экспозиции является этапом оценки риска, в процессе которого устанавливается количественное поступление агента (тяжелого металла) в организм человека пероральным путем в результате контакта с различными объектами окружающей среды. На начальном этапе оценки риска поступления тяжелых металлов, в том числе канцерогенов, в организм жителей г. Горки, употребляющих в пищу картофель и овощи, выращиваемые в пределах агроселитебных ландшафтов, был проведен расчет экспозиции химическими контаминантами на уровне медианы и 90-го перцентиля. При этом величина экспозиции определялась как рассчитанное количество агента в конкретном объекте окружающей среды, находящееся в соприкосновении с пограничными органами человека (пищеварительный тракт) в течение какого-либо точно установленного времени (в данном случае дни) и выражалась как величина воздействия, нормализованная с учетом массы тела мг / (кг · день). Установлено, что суммарная годовая экспозиция тяжелых металлов, поступающих вследствие употребления в пищу картофеля и овощей (по медианному значению), для взрослого населения составляет 17 мг/кг массы тела, а для детского – достигает 120 мг/кг, а максимальный суммарный вклад в экспозицию контаминантов вносят цинк и марганец (табл. 2).

⁵Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc> (дата обращения: 10.10.2021).

⁶Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию. URL: <http://www.new.belproduct.com/o-centre/struktura/gup-nauchno-prakticheskiy-centr-nacionalnoy-akademii-nauk-belarusi-po-prodovolstviu/otdel-pitaniya/racionalnye-normy-potrebleniya-pishhevyh-produktov.html> (дата обращения: 10.10.2021).

Таблица 2

Суммарная экспозиция тяжелых металлов, поступающих вследствие употребления в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, мг/кг массы тела/сутки

Table 2

Total exposure of heavy metals as a result of the consumption of potatoes and vegetables grown within the agro-residential landscapes of Gorki, mg/kg body weight/day

Группа воздействия	Название оценочного показателя	Название химического элемента					Суммарная экспозиция
		Cu	Zn	Mn	Pb	Cd	
Взрослые	Exp _{med}	0,005160	0,025195	0,015803	0,000393	0,000077	0,046628
	Exp _{90%}	0,008357	0,035405	0,024691	0,001733	0,000415	0,070601
Дети	Exp _{med}	0,036711	0,177712	0,110599	0,003170	0,000633	0,328825
	Exp _{90%}	0,061164	0,254098	0,167720	0,013628	0,003403	0,500013

Максимальный вклад в экспозицию Cu, Zn, Mn и Cd, поступающих в организм взрослого населения г. Горки, вносят свекла столовая, вклад которой в зависимости от вещества-загрязнителя колеблется от 47 до 57 %, и картофель (его доля составляет 17–29 %). Для свинца приоритетными по экспозиции являются все тот же картофель (46 %) и капуста белокочанная (30 %) (табл. 3).

Таблица 3

Вклад отдельных культур в общее значение экспозиции тяжелых металлов, поступающих вследствие употребления в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, %

Table 3

Contribution of individual crops to the total value of the exposure of heavy metals incoming as a result of consumption potatoes and vegetables grown within the agro-residential landscapes of Gorki, %

Название культуры	Группа воздействия	Название химического элемента				
		Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
Картофель	Взрослые	27,07	18,84	17,33	45,78	28,80
	Дети	51,54	36,52	34,10	44,61	42,65
Свекла столовая	Взрослые	55,77	56,39	56,90	6,51	47,20
	Дети	6,43	6,62	6,78	0,38	4,27
Морковь столовая	Взрослые	7,17	6,85	6,69	14,70	18,40
	Дети	22,08	21,46	21,29	23,09	43,92
Капуста белокочанная	Взрослые	7,47	14,76	16,32	29,88	4,00
	Дети	13,53	27,21	30,54	27,82	5,69
Лук репчатый	Взрослые	2,52	3,15	2,76	3,13	1,60
	Дети	6,42	8,19	7,28	4,10	3,48

Примечание. Расчет выполнялся для медианных значений экспозиции тяжелых металлов.

Для детского населения максимальный вклад в экспозицию меди и кадмия вносят морковь столовая (22 и 44 % соответственно) и картофель (52 и 43 % соответственно), а основным источником поступления в организм цинка, марганца и свинца являются картофель (37–44 %) и капуста белокочанная (27–31 %).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что НQ содержания тяжелых металлов в картофеле и овощах, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки и употребляемых в пищу взрослым населением на уровне 90-го перцентиля, превышает 1,0, поэтому необходимо усилить контроль за содержанием контаминантов в тех сельскохозяйственных культурах, которые вносят максимальный вклад в общее значение экспозиции тяжелых металлов (табл. 4).

Неканцерогенный риск, обусловленный поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

Table 4

Non-carcinogenic risk due to the intake of heavy metals with potatoes and vegetables grown within the agro-residential landscapes of Gorki

Тяжелый металл	Среднесуточная экспозиция металла, AD, мг/кг массы тела/сутки		Референтная доза при хроническом пероральном поступлении RfD, мг/кг/сутки	Коэффициент опасности HQ	
	Exp _{med}	Exp _{90%}		Exp _{med}	Exp _{90%}
Взрослые					
Медь	0,005160	0,008357	0,019	0,272	0,440
Цинк	0,025195	0,035405	0,3	0,084	0,118
Марганец	0,015803	0,024691	0,14	0,113	0,176
Свинец	0,000393	0,001733	0,0035	0,112	0,495
Кадмий	0,000077	0,000415	0,0005	0,154	0,830
Суммарный индекс опасности, HI				0,735	2,059
Дети					
Медь	0,036711	0,061164	0,019	1,932	3,219
Цинк	0,177712	0,254098	0,3	0,592	0,847
Марганец	0,110599	0,167720	0,14	0,790	1,198
Свинец	0,003170	0,013628	0,0035	0,906	3,894
Кадмий	0,000633	0,003403	0,0005	1,266	6,806
Суммарный индекс опасности, HI				5,486	15,964

В разрезе отдельных элементов ни на уровне медианы, ни на уровне 90-го перцентиля коэффициент опасности не превышал допустимого значения, что свидетельствует об относительной безопасности употребления картофеля и овощей в случае их моноэлементного загрязнения. Для детского населения HQ содержания марганца и свинца в картофеле и овощах превышал 1,0 на уровне 90-го перцентиля, а меди и кадмия – еще и на медианном уровне. Данный факт свидетельствует о том, что при употреблении в пищу картофеля и овощей воздействие на организм детей присутствующих в них тяжелых металлов характеризуется как недопустимое. При значении данного показателя $1 < HQ < 5$ можно констатировать, что подвергшееся воздействию детское население находится в интервале уровня беспокойства.

Оценку канцерогенного риска, под которым понимают вероятность повышения частоты новообразований у людей за счет перорального воздействия химических канцерогенов [1], осуществляли посредством расчета величин индивидуального, суммарного и популяционного рисков. Среди исследуемых тяжелых металлов канцерогенный риск определяли для химических элементов с доказанным канцерогенным эффектом – свинца и кадмия (табл. 5).

Установлено, что суммарный уровень канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля и овощей в течение жизни только за счет двух идентифицированных канцерогенов (Pb и Cd) составляет $0,39 \cdot 10^{-3} - 0,47 \cdot 10^{-3}$ для медианных значений и $0,24 \cdot 10^{-3} - 1,93 \cdot 10^{-3}$ для 90-го перцентиля, что по международной критериальной шкале оценивается как средний канцерогенный риск.

Следует подчеркнуть, что в связи со стохастическим характером канцерогенного процесса, его длительным латентным периодом, отличиями в возрастной чувствительности и сложным характером временной и возрастной зависимости достоверности смерти человека, точно предусмотреть сроки развития злокачественных новообразований на основе имеющейся на сегодня научной информации в популяции не представляется возможным. Кроме того, при оценке канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля и овощей, загрязненных тяжелыми металлами, не учитывается возможное снижение дозы экспозиции вследствие их переработки (варения, тушения, соления и т. д.). В этой связи ситуацию с загрязнением картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, нельзя считать критической или опасной, но она требует пристального внимания со стороны как органов охраны здоровья, так и органов государственной власти и местного самоуправления.

Таблица 5

Индивидуальный и популяционный канцерогенный риски, обусловленные поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

Table 5

Individual and population carcinogenic risk due to the intake of heavy metals with potatoes and vegetables grown within the agro-residential landscapes of Gorki

Тяжелый металл	Группа воздействия	Индивидуальный канцерогенный риск (вероятность), ICR		Популяционный канцерогенный риск (число случаев), PCR		Уровень индивидуального канцерогенного риска
		Exp _{med}	Exp _{90%}	Exp _{med}	Exp _{90%}	
Свинец	Взрослые	$0,18 \cdot 10^{-4}$	$0,81 \cdot 10^{-4}$	0,63	2,80	Средний
	Дети	$0,15 \cdot 10^{-3}$	$0,64 \cdot 10^{-3}$	0,81	3,47	Средний
Кадмий	Взрослые	$0,29 \cdot 10^{-4}$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	1,00	5,41	Средний
	Дети	$0,24 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	1,30	7,01	Средний
Суммарный риск	Взрослые	$0,47 \cdot 10^{-4}$	$0,24 \cdot 10^{-3}$	1,64	8,21	Средний
	Дети	$0,39 \cdot 10^{-3}$	$1,93 \cdot 10^{-3}$	2,11	10,49	Средний

Примечание. По состоянию на 01.01.2021 г., взрослое население г. Горки составляло 34 332 человека, детское население – 5 424 ребенка (<http://gorki.gov.by/region/4299-naselenie-regiona.html>).

В урбанизированной среде существует также и потенциальный риск для здоровья населения из-за поступления тяжелых металлов, содержащихся в почве и пыли с городских дорог. Поступая из указанных источников, они могут накапливаться в организме человека через прямое вдыхание, проглатывание и абсорбцию при попадании на кожу [6]. Результаты оценки не канцерогенного риска, обусловленного поступлением тяжелых металлов пероральным, ингаляционным и перкутаным путем из загрязненных урбаноземов в организм жителей г. Горки, свидетельствуют, что величина последнего для детского населения при поступлении в организм цинка и кадмия на порядок выше риска для взрослого населения. Однако суммарный индекс опасности для обеих групп воздействия не превышает допустимого уровня (меньше 1,0), что свидетельствует об отсутствии значимого не канцерогенного риска для здоровья населения, который можно оценить как ничтожно малый (табл. 6).

Таблица 6

Неканцерогенный и канцерогенный и, обусловленные поступлением тяжелых металлов пероральным, ингаляционным и перкутаным путем из загрязненных урбаноземов в организм жителей г. Горки

Table 6

Non-carcinogenic and carcinogenic risk due to the intake of heavy metals into the body of residents of Gorki by the oral, inhalation and percutaneous routes from contaminated urban soils

Тяжелый металл	Суммарный индекс опасности, HI		Суммарный канцерогенный риск (вероятность), ICR		Суммарный популяционный риск (число случаев), PCR	
	дети	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые
Cu	$8,41 \cdot 10^{-5}$	$4,08 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–
Zn	$1,56 \cdot 10^{-5}$	$6,15 \cdot 10^{-6}$	–	–	–	–
Mn	$1,18 \cdot 10^{-3}$	$0,63 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–
Pb	$9,47 \cdot 10^{-5}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$6,85 \cdot 10^{-6}$	$7,55 \cdot 10^{-7}$	0,037	0,026
Cd	$1,32 \cdot 10^{-5}$	$2,09 \cdot 10^{-6}$	$1,55 \cdot 10^{-8}$	$1,72 \cdot 10^{-9}$	$8,41 \cdot 10^{-5}$	$5,89 \cdot 10^{-5}$

Суммарный канцерогенный риск, обусловленный поступлением тяжелых металлов пероральным, ингаляционным и перкутаным путем из загрязненных урбаноземов также находится на допустимом уровне, каковым считается наличие индивидуального риска в течение всей жизни, равного или меньшего $1 \cdot 10^{-6}$, что соответствует одному дополнительному случаю возникновения онкологического заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц. Такой уровень риска воспринимается как пренебрежимо малый, не отличающийся от обычных, повседневных рисков и не требующий никаких дополнительных

мероприятий по его снижению. Следовательно, можно констатировать, что урбаноземы на территории г. Горки при существующем уровне их загрязнения тяжелыми металлами не несут серьезной опасности для взрослого и детского населения как источник поступления контаминантов.

Стратегия управления риском для населения г. Горки вследствие загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами предусматривает последовательное прохождение следующих этапов (табл. 7).

Таблица 7

Стратегия управления риском для населения г. Горки

Table 7

Risk management strategy for the population of Gorki

Этап управления	Цель управляющего действия	Способ реализации управляющего действия
Сравнительная оценка и ранжирование риска	Установить приоритетные источники риска для здоровья населения	Определение неканцерогенного и канцерогенного рисков для здоровья взрослого и детского населения. Определение неканцерогенного риска в отношении тропных органов и систем организма взрослого и детского населения
Определение уровней приемлемости риска	Установить значимость и приемлемость риска	Определение восприятия риска различными группами населения
Снижение и контроль риска	Минимизировать либо устранить риск	Исключение из рациона культур с максимальным вкладом в экспозицию контаминантов. Мониторинг экспозиции контаминантов и риска
Реагирование на риск	Решить потенциальные либо существующие проблемы, связанные с рисками	Избегание риска посредством полного устранения угрозы. Смягчение риска посредством принятия мер для уменьшения его воздействия. Принятие риска как ничтожно малого

На первом этапе управления необходимо выполнить сравнительную характеристику существующих рисков с целью определения круга вопросов, требующих первоочередного внимания, установление вероятности появления риска и его последствий. Этот этап предусматривает определение уровней вероятности развития нарушений состояния здоровья (посредством оценки неканцерогенного и канцерогенного рисков) и анализ их причинной обусловленности (поиск источников загрязнения с максимальным вкладом в экспозицию контаминантов), а также углубленную характеристику неблагоприятных последствий и ущербов состоянию здоровья населения (табл. 8).

На этапе анализа приемлемости риска учитывается возможность осуществления контролируемых (регулируемых) мер с целью уменьшения потенциального негативного воздействия контаминантов на окружающую среду и здоровье человека. Довольно часто для установления приемлемости риска используется метод экономического анализа «затраты – выгода». Однако, поскольку в данном конкретном исследовании речь идет об оценке риска в частном секторе, менее детерминированном и менее подверженном централизованному регулированию, оценка приемлемости риска посредством экономического анализа часто является неосуществимой.

Этап снижения и контроля уровней риска предусматривает мероприятия, максимально способствующие минимизации или устранению риска. Они могут включать как ограничение количества экспонируемых лиц, так и ограничение сферы использования источника риска или территорий с локализацией таких источников. Контроль риска осуществляют посредством его периодического либо постоянного мониторинга, что позволяет быстро реагировать на возникновение опасной ситуации, осуществлять прогнозирование уровней экспозиции контаминантов и величины риска.

Целью последнего этапа стратегии управления риском является реагирование на риск, который уже превратился в проблему. Данное мероприятие возможно осуществить тремя способами:

- минимизировать риск, полностью устранив причину угрозы. Для конкретного рассматриваемого случая это может быть рекомендация родителям, дошкольным и школьным учреждениям уменьшить употребление в пищу детьми сельскохозяйственных культур, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки;

- смягчить риск посредством принятия мер для уменьшения его воздействия. Для конкретного рассматриваемого случая это может быть [8]:

- а) отказ от употребления в пищу сельскохозяйственных культур, которые вносят максимальный вклад в экспозицию контаминантов; б) удаление внутреннего кочана, особенно его коровой части, у капусты

белокочанной; в) удаление нижней части корнеплодов у столовой свеклы, где концентрируется максимальное количество цинка, свинца и кадмия; г) удаление сердцевинной части корнеплода у моркови столовой, выращенной в условиях загрязнения цинком и свинцом; д) удаление кожуры с периферийной зоной у картофеля в случае сверхнормативного загрязнения его тяжелыми металлами; е) удаление у лука репчатого доньшка, концентрирующего до 20 % кадмия и цинка;

– принять риск, предположив вероятность его негативного воздействия.

При составлении плана реагирования на риск (табл. 9) глубина его детализации должна соответствовать значимости риска, поскольку существует его ненулевая концепция, предусматривающая постоянное наличие.

Таблица 8

Характеристика уровней риска для населения г. Горки вследствие загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами

Table 8

Characteristics of the risk levels for the population of Gorki due to heavy metals contamination of urban soils, potatoes and vegetables

Вид риска	Уровень риска				
	мини-мальный	незначительный	умеренный	высокий	очень высокий
Неканцерогенный риск для здоровья взрослого населения от монозагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами					
Неканцерогенный риск для здоровья взрослого населения от полизагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами					
Неканцерогенный риск для здоровья детского населения от монозагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами					
Неканцерогенный риск для здоровья детского населения от полизагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами					
Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения от загрязнения картофеля и овощей свинцом и кадмием					
Канцерогенный риск для здоровья детского населения от загрязнения картофеля и овощей свинцом и кадмием					
Неканцерогенный риск для здоровья взрослого населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами					
Неканцерогенный риск для здоровья детского населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами					
Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами					
Канцерогенный риск для здоровья детского населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами					

Примечание: 1) при наличии минимального уровня риска фиксируется ограниченное негативное воздействие на группу риска, а необходимость в принятии дополнительных корректирующих и предупреждающих мер отсутствует; 2) при незначительном уровне риска имеет место незначительное негативное воздействие на небольшую группу населения или небольшую группу риска и требуется проведение небольшого числа дополнительных корректирующих и предупреждающих мероприятий с затратой минимальных ресурсов; 3) при умеренном уровне риска присутствует умеренное негативное воздействие на большую группу населения или большую группу риска и требуется проведение определенного числа дополнительных корректирующих и предупреждающих мероприятий – иногда с затратой умеренных ресурсов; 4) при высоком уровне риска осуществляется значительное негативное воздействие на небольшую группу населения или небольшую группу риска и требуется проведение большого числа дополнительных корректирующих и предупреждающих мероприятий – иногда с затратой значительных ресурсов.

План реагирования на риск для населения г. Горки вследствие
 загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами

Table 9

Plan of response to the risk for the population of Gorki due to heavy metals contamination of urban soils, potatoes and vegetables

Вид риска	Способ реагирования на риск		
	минимизация	смягчение	принятие
Неканцерогенный риск для здоровья взрослого населения от монозагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами			
Неканцерогенный риск для здоровья взрослого населения от полизагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами			
Неканцерогенный риск для здоровья детского населения от монозагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами			
Неканцерогенный риск для здоровья детского населения от полизагрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами			
Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения от загрязнения картофеля и овощей свинцом и кадмием			
Канцерогенный риск для здоровья детского населения от загрязнения картофеля и овощей свинцом и кадмием			
Неканцерогенный риск для здоровья взрослого населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами			
Неканцерогенный риск для здоровья детского населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами			
Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами			
Канцерогенный риск для здоровья детского населения от полизагрязнения почвы тяжелыми металлами			

Риск для здоровья населения г. Горки от употребления картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов, при существующем уровне их загрязнения оценивается как средний либо низкий (допустимый), однако данные продукты составляют от 40 до 50 % в структуре рациона жителей городов и поселков городского типа в Республике Беларусь⁷. Таким образом, целесообразным представляется информирование жителей об опасности и обеспечение мониторинга качества растениеводческой продукции, выращиваемой населением в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки.

Важно отметить, что при распространении информации о риске необходимо принимать во внимание факт особенностей его восприятия целевой аудиторией, каковой являются жители г. Горки. Как и любые другие обыватели, они в своем восприятии риска ориентируются не только на его количественные характеристики и возможные последствия для здоровья, но и на устойчивые сформировавшиеся стереотипы и общественное мнение, что может привести как к недооценке, так и к переоценке риска.

Заключение

Оценка риска развития неканцерогенных эффектов, выполненная посредством определения значения коэффициента опасности, свидетельствует о необходимости усиления контроля за содержанием контаминантов в тех сельскохозяйственных культурах, которые вносят максимальный вклад в общее значение экспозиции тяжелых металлов в организм как взрослого, так и детского населения г. Горки.

При наличии хронического перорального поступления тяжелых металлов в организм взрослого населения критическим органом, для которого существует наиболее высокий риск поражения, являются почки, тогда как у детей максимальному негативному воздействию будут подвергаться почки, кровь, кровеносные органы и центральная нервная система.

Суммарный уровень канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля и овощей в течение жизни за счет таких канцерогенов, как Pb и Cd, по международной критериальной шкале оценивается как

⁷Социальное положение и уровень жизни населения Республики Беларусь: стат. сб. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021.

средний риск, требующий динамического контроля и углубленного изучения источников и возможных последствий вредных воздействий для принятия соответствующих мер по управлению риском в направлении его минимизации.

Неканцерогенный риск для здоровья как взрослого, так и детского населения вследствие ингаляционного, перорального и перкутанного поступления тяжелых металлов из загрязненной почвы оценивается как ничтожно малый, а канцерогенный находится на допустимом уровне, каковым считается наличие индивидуального риска в течение всей жизни, равного или меньшего $1 \cdot 10^{-6}$.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы для разработки стратегии управления риском для населения вследствие загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами, предусматривающие последовательное прохождение следующих этапов: сравнительная оценка и ранжирование риска; определение уровней приемлемости риска; снижение и контроль риска; реагирование на риск, предусматривающее его избегание, смягчение либо принятие.

Библиографические ссылки

1. Онищенко ГГ, Новиков СМ, Рахманин ЮА. *Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду*. М.: [б. и.]; 2002.
2. Долл Р, Пито Р. *Причины рака*. К.: Наука; 1984.
3. Надточий ПП, Мыслыва ТН, Белявский ЮА. Канцерогенный и неканцерогенный риск от употребления картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Житомир. *Экологический вестник*. 2015;1:80–87.
4. Zheng N, Lui J, Wang Q. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, northeast of China. *Science of the Total Environment*. 2010;408:726–733. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.075.
5. Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment*. 2006;40:3835–3844. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.03.004.
6. Chonokhuu S, Batbold Ch, Chuluunpurev B, et al. Contamination and health risk assessment of heavy metals in the soil of major cities in Mongolia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16:2552. DOI:10.3390/ijerph16142552.
7. Harmanescu M, Alda LM, Bordean DM, Gogoasa I, Gergen I. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County, Romania. *Chemistry Central Journal*. 2011;5(64):2–10.
8. Мислива ТМ, Герасимчук ЛО, Греков ВО. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище. Житомир: ЖНАЕУ; 2011.

References

1. Onishchenko GG, Novikov SM, Rahmanin YuA. *Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu* [Basics for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment]. Moscow: [publisher unknown]; 2002. Russian.
2. Doll P, Pito R. *Prichiny raka* [Cancer causes]. Kiev: Nauka; 1984. Russian.
3. Nadtochyj PP, Myslyva TN, Belyavskij YuA. Carcinogenic and non-carcinogenic risk from consuming potatoes and vegetables growing within the limits of agrosettle landscapes of Zhitomir. *Ekologicheskij vestnik*. 2015;1:80–87. Russian.
4. Zheng N, Lui J, Wang Q. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, northeast of China. *Science of the Total Environment*. 2010;408:726–733. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.075.
5. Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment*. 2006;40:3835–3844. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.03.004.
6. Chonokhuu S, Batbold Ch, Chuluunpurev B, et al. Contamination and health risk assessment of heavy metals in the soil of major cities in Mongolia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16:2552. DOI:10.3390/ijerph16142552.
7. Harmanescu M, Alda LM, Bordean DM, Gogoasa I, Gergen I. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County, Romania. *Chemistry Central Journal*. 2011;5(64):2–10.
8. Myslyva TM, Gerasymchuk LO, Grekov VO. Conducting agricultural production in the private sector in conditions of increased anthropogenic impact on the environment. Zhytomyr: ZhNAEU; 2011. Ukrainian.

Статья поступила в редакцию 20.10.2021.
Received by editorial board 20.10.2021.