

КАНЦЕРОГЕННЫЙ И НЕКАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОТРЕБЛЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ, ВЫРАЩИВАЕМОГО В ПРЕДЕЛАХ АГРОСЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ Г. ГОРКИ

О. Н. ЛЕВШУК, Т. Н. МЫСЛЫВА

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: byrty41@yahoo.com; levshuk-2011@mail.ru

А. П. МКРТЧЯН

Учреждение здравоохранения «Горецкий районный центр гигиены и эпидемиологии»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: gorki@cge.by

(Поступила в редакцию 20.01.2022)

Установление риска наступления нежелательных эффектов, обусловленного воздействием канцерогенных и неканцерогенных химических веществ на человека, является одним из действенных методов предупреждения опасности загрязнения окружающей среды. Цель настоящего исследования – установление величины не канцерогенного и канцерогенного риска, обусловленного поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля, выращенного в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки. Установлено, что максимальный вклад в экспозицию тяжелых металлов в организм взрослого и детского населения вносят Zn и Mn. Суммарная годовая экспозиция тяжелых металлов, поступающих в организм взрослого и детского населения вследствие употребления в пищу картофеля, определенная по медианному значению, составляет 6,2–8,9 мг/кг массы тела, а определенная на уровне 90-го перцентиля – 46,4–66,6 мг/кг массы тела соответственно. Суммарный индекс опасности возникновения не канцерогенных эффектов вследствие воздействия тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля для взрослого населения превышает допустимое значение только на уровне 90-го перцентиля, а для детского населения оценивается как средний на уровне медианы и как чрезвычайно высокий – на уровне 90-го перцентиля. Суммарный уровень канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля в течение жизни за счет таких канцерогенов как Pb и Cd по международной критериальной шкале оценивается как средний. Результаты выполненных исследований могут быть использованы для разработки стратегии управления риском для здоровья населения малых городов Республики Беларусь вследствие загрязнения картофеля 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, тяжелые металлы, население, канцерогенный и не канцерогенный риск.

Establishing the risk of adverse effects due to human exposure to carcinogenic and non-carcinogenic chemicals is one of the most effective methods for preventing the danger of environmental pollution. The purpose of this study is to determine the magnitude of the non-carcinogenic and carcinogenic risk caused by the intake of heavy metals when eating potatoes grown within the agro-residential landscapes of the city of Horki. It has been established that the maximum contribution to the exposure of heavy metals to the body of the adult and child population is made by Zn and Mn. The total annual exposure of heavy metals entering the body of adults and children due to the consumption of potatoes, determined by the median value, is 6.2–8.9 mg/kg of body weight, and that determined at the level of the 90th percentile – 46.4–66.6 mg/kg of body weight, respectively. The total hazard index for the occurrence of non-carcinogenic effects due to exposure to heavy metals when eating potatoes for the adult population exceeds the permissible value only at the level of the 90th percentile, and for the children's population it is estimated as average at the median level and as extremely high at the level of 90th percentile. The total level of carcinogenic risk from eating potatoes during life due to such carcinogens as Pb and Cd according to the international criterion scale is estimated as medium. The results of the studies performed can be used to develop a strategy for managing the health risk to the population of small towns of the Republic of Belarus due to contamination of potatoes with heavy metals, which provides for the sequential passage of the following stages: comparative assessment and ranking of risk; determination of risk acceptability levels; risk reduction and control; risk response.

Key words: potato, heavy metals, population, carcinogenic and non-carcinogenic risk.

Введение

Загрязнение тяжелыми металлами компонентов биосферы относится к одной из глобальных экологических проблем, решение которой приобретает все большую актуальность в условиях усиления антропогенного воздействия на окружающую среду. Доказано, что именно состояние окружающей среды прямо, либо косвенно становится причиной возникновения до 90 % всех болезней человека, наиболее опасными среди которых являются злокачественные новообразования [1]. Установлено, что 85–90 % всех случаев возникновения рака различной этиологии определяется влиянием канцерогенов, поступающих из окружающей среды, среди которых 70–80 % связывают с химическими, а 10 % – с радиационными факторами [2, 3].

Одним из действенных методов предупреждения ухудшения здоровья населения, обусловленного воздействием канцерогенных и неканцерогенных химических веществ вследствие загрязнения окружающей среды, является установление величины риска наступления нежелательных эффектов от воздействия поллютантов с целью дальнейшей разработки методов его минимизации, либо полного устранения. Вопросам анализа структурной нагрузки канцерогенов и неканцерогенных контаминантов на здоровье населения посвящен целый ряд зарубежных исследований [4–7], однако для условий Беларуси, в частности для территории малых городов, таких исследований проведено не было.

Исходя из этого, целью настоящего исследования стало определение степени неканцерогенного и канцерогенного риска, обусловленного поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки.

Задачи исследования предусматривали: 1) определение величины экспозиции химическими контаминантами на уровне медианы и 90-го перцентиля жителей г. Горки; 2) определение неканцерогенного и канцерогенного риска для населения вследствие употребления в пищу картофеля, загрязненного медью, цинком, марганцем, свинцом и кадмием; 3) разработка стратегии по управлению риском для здоровья населения г. Горки вследствие употребления в пищу, картофеля, загрязненного тяжелыми металлами.

Основная часть

Исследования выполнялись в течение 2017–2021 гг. в пределах индивидуальной жилой застройки г. Горки Могилевской области на территории микрорайонов «Заречье», «Слобода» и «Академия», а также садовых товариществ «Труд», «Иваново», «Яблонька», «Верхнее озеро» и «Садовод», жители которых традиционно занимаются индивидуальным огородничеством и садоводством и употребляют в пищу получаемую растениеводческую продукцию.

Оценку величины канцерогенного и не канцерогенного риска выполняли по общепринятым методикам [8]. 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 веществ.

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 популяции [9].

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» [10], а сведения о годовом потреблении картофеля и овощей детьми – с официального сайта Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по продовольствию [11].

Отбор проб картофеля осуществлялся в соответствии с требованиями, указанными в ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89. Пробы отбирались на исследуемых земельных участках по диагонали, через равные расстояния, в трёх точках, массой не менее 1 кг каждая. Всего было отобрано и проанализировано 150 проб картофеля.

Аналитические исследования проводились на базе химико-экологической лаборатории УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», аккредитованной в Системе аккредитации Республики Беларусь в соответствии с СТБ ИСО/МЭК 1 7025-2007. Определение содержания тяжелых металлов выполнялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе SOLAAR S Series AA фирмы Thermo Scientific (США). Экстрагирование тяжелых металлов выполняли 1н H₂SO₄, минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления. Подробная информация о статистических характеристиках выборки данных о содержании тяжелых металлов в картофеле представлена в опубликованной ранее работе [12].

Анализ пространственного распределения не канцерогенного и канцерогенного риска для здоровья населения от употребления в пищу картофеля, загрязненного тяжелыми металлами, выполнялся с помощью функциональных возможностей модуля «Геопространственный анализ» программного продукта ArcGIS версии 10.5.

Для статистической обработки полученных результатов использовались функциональные возможности прикладного программного продукта Statistica версии 12.0.

Картофель – один из важнейших продуктов, богатый источником получаемой с пищей энергии и питательных веществ, по содержанию белков намного превосходящий другие корнеплоды и клубнеплоды. Он богат минеральными веществами (калий, фосфор и магний), микроэлементами (Zn (0,36 мг), Mn (0,17 мг), Cu (0,14 мг), Fe (0,9 мг), В (115 мкг), V (149 мкг), F (30 мкг), Cr (10 мкг), витаминами С (20 мг), B1 (0,12 мг), B2 (0,07 мг), B5 и B6, (по 0,3 мг), B9 (8 мкг), E (0,1 мг) [13]. Картофель является четвертым по величине потребления продуктом питания в мире [14]. В Республике Беларусь среднее потребление картофеля на душу населения составляет 68 кг, а его ежегодное произ-

водство достигает свыше 6 тыс. т [15]. Более 80 % производимого в стране картофеля выращивается в хозяйствах населения и свыше половины его употребляется в пищу самими производителями.

Картофель, выращиваемый в пределах участков индивидуальной жилищной застройки на территории г. Горки, содержит различные количества микроэлементов и тяжелых металлов, которые по содержанию их в клубнях располагаются в следующий убывающий ряд: Zn > Mn > Cu > Pb > Cd. По величине коэффициента опасности содержания в клубнях картофеля, под которым понимают отношение фактического содержания элемента к его предельно допустимой концентрации, тяжелые металлы располагаются в следующий убывающий ряд: кадмий > цинк > медь > свинец [12]. На начальном этапе оценки риска поступления тяжелых металлов, в том числе канцерогенов Pb и Cd, в организм жителей г. Горки, употребляющих в пищу картофель, выращиваемый 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 поллютанта 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) [8]. Установлено, что суммарная годовая экспозиция тяжелых металлов, поступающих вследствие употребления в пищу картофеля (по медианному значению), для взрослого населения составляет 6,2 мг/кг массы тела, а для детского – достигает 8,90 мг/кг массы тела, тогда как экспозиция, рассчитанная для 90-го перцентиля, составляет 46,4 мг/кг массы тела и 66,6 мг/кг массы тела соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Суммарная экспозиция тяжелых металлов, поступающих вследствие употребления в пищу картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, мг/кг массы тела/сутки

Группа воздействия	Название оценочного показателя	Название химического элемента					Суммарная экспозиция
		Cu	Zn	Mn	Pb	Cd	
Взрослые	Exp _{med}	0,002539	0,008709	0,005062	0,000271	0,000037	0,016618
	Exp _{90%}	0,003874	0,011948	0,007083	0,000671	0,000272	0,023848
Дети	Exp _{med}	0,018920	0,064892	0,037719	0,002015	0,000270	0,123816
	Exp _{90%}	0,028867	0,089028	0,052778	0,005000	0,002025	0,177698

Максимальный суммарный вклад в экспозицию контаминантов как взрослого, так и детского населения г. Горки вносят цинк и марганец, причем более 50 % экспозиции тяжелых металлов, поступающих в организм вследствие употребления в пищу картофеля, приходится на цинк.

Загрязнение урбоэкосистем тяжелыми металлами является мощным фактором, негативно влияющим на здоровье человека и способствующим развитию болезней, при этом более уязвимой частью популяции являются именно дети. Установлена статистически значимая связь между уровнем содержания тяжелых металлов в организме детей и частотой возникновения у них инфекционных заболеваний верхних дыхательных путей, нарушений функционирования желудочно-кишечного тракта и анемии [16]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что суммарный индекс опасности (НИ), являющийся количественной мерой оценки риска развития неканцерогенных эффектов от поступления в организм тяжелых металлов, содержащихся в картофеле, выращиваемом в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки и употребляемом в пищу взрослым населением, превышает 1,0 на уровне 90-го перцентиля, поэтому необходимо усилить контроль за содержанием тех контаминантов, которые вносят максимальный вклад в общее значение экспозиции тяжелых металлов (табл. 2).

Таблица 2. Неканцерогенный риск, обусловленный поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

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	0,002539	0,003874	0,019	0,134	0,204
Цинк	0,008709	0,011948	0,30	0,029	0,040
Марганец	0,005062	0,007083	0,14	0,036	0,051
Свинец	0,000271	0,000671	0,0035	0,077	0,192
Кадмий	0,000037	0,000272	0,0005	0,074	0,544
Суммарный индекс опасности, НИ				0,350	1,031
Дети					
Медь	0,018920	0,028867	0,019	0,996	1,519
Цинк	0,064892	0,089028	0,30	0,216	0,297
Марганец	0,037719	0,052778	0,14	0,269	0,378
Свинец	0,002015	0,005000	0,0035	0,576	1,429
Кадмий	0,000270	0,002025	0,0005	0,540	4,050
Суммарный индекс опасности, НИ				2,597	7,672

Максимальный вклад в общее значение суммарного индекса опасности на уровне медианы вносят медь, свинец и кадмий, а на уровне 90-го перцентиля – кадмий, медь и свинец (рис. 1).

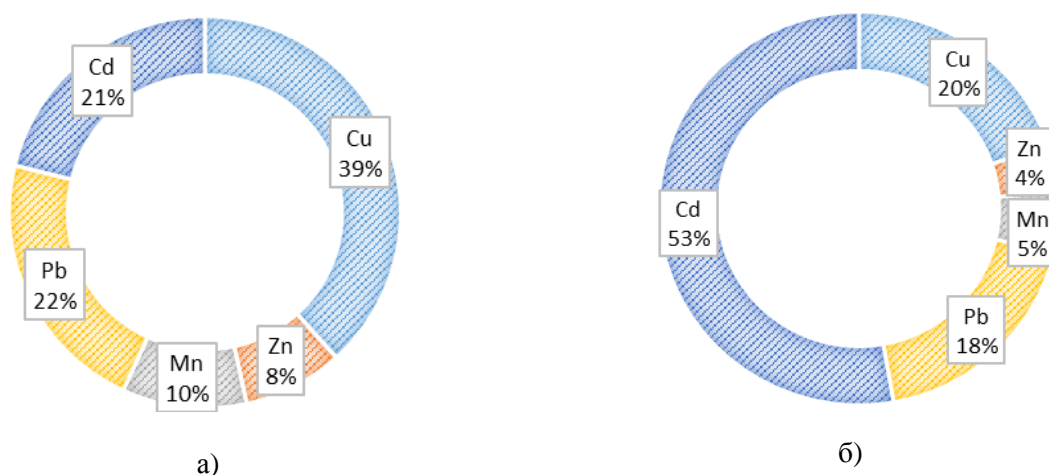


Рис. 1. Вклад отдельных тяжелых металлов, поступающих в организм взрослого и детского населения вследствие употребления в пищу картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, в общее значение суммарного индекса опасности HI (а – уровень медианы; б – уровень 90-го перцентиля)

В разрезе отдельных элементов ни на уровне медианы, ни на уровне 90-го перцентиля коэффициент опасности для взрослого населения не превышал допустимого значения, что свидетельствует об относительной безопасности употребления картофеля в случае его моноэлементного загрязнения. Для детского населения HQ содержания кадмия, меди и свинца в картофеле превышал 1,0 на уровне 90-го перцентиля. Данный факт свидетельствует о том, что при употреблении в пищу картофеля воздействие на организм детей присутствующих в нем Cd, Cu и Pb характеризуется как недопустимое. Суммарный индекс опасности возникновения неканцерогенных эффектов вследствие воздействия тяжелых металлов для детского населения оценивается как средний на уровне медианы и как чрезвычайно высокий – на уровне 90-го перцентиля.

По данным Агентства по охране окружающей среды США (EPA), мышьяк, кадмий, свинец и ртуть являются одними из наиболее токсичных тяжелых металлов в окружающей среде. Кроме того, Агентство США по регистрации токсических веществ и заболеваний (ATSDR) утвердило список из 20 тяжелых металлов (с выраженной токсичностью для человека), в котором второе место занимает свинец, а седьмое – кадмий [17]. Данные токсиканты относятся к веществам с доказанной канцерогенной активностью для человека, в связи с чем оценку канцерогенного риска, под которым понимают вероятность повышения частоты новообразований у людей за счет перорального воздействия химических канцерогенов [8], осуществляли в отношении именно этих тяжелых металлов (табл. 3).

Таблица 3. Индивидуальный и популяционный канцерогенный риск, обусловленный поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

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	$0,13 \cdot 10^{-4}$	$0,32 \cdot 10^{-4}$	0,39	0,96	Средний
	Дети	$0,95 \cdot 10^{-4}$	$0,24 \cdot 10^{-3}$	0,51	1,28	Средний
Кадмий	Взрослые	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$0,10 \cdot 10^{-3}$	0,42	3,14	Средний
	Дети	$0,10 \cdot 10^{-3}$	$0,77 \cdot 10^{-3}$	0,56	4,17	Средний
Суммарный риск	Взрослые	$0,27 \cdot 10^{-4}$	$0,13 \cdot 10^{-3}$	0,80	4,09	Средний
	Дети	$0,20 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^{-3}$	1,07	5,45	Средний

Примечание: по состоянию на 01.01.2022 г. взрослое население г. Горки составляло 30371 человека, детское население – 5424 ребенка (<http://gorki.gov.by/region/4299-naselenie-regiona.html>).

Установлено, что суммарный уровень канцерогенного риска для взрослого и детского населения от употребления в пищу картофеля в течение жизни только за счет двух идентифицированных канцерогенов – Pb и Cd составляет $0,27 \cdot 10^{-4} - 0,20 \cdot 10^{-3}$ для медианных значений и $0,13 \cdot 10^{-3} - 1,01 \cdot 10^{-3}$ для 90-го перцентиля, что по международной критериальной шкале оценивается как средний канцерогенный риск. Следует, однако, подчеркнуть, что при оценке канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля, загрязненного тяжелыми металлами, не учитывается возможное снижение дозы экспозиции вследствие его переработки (варения, тушения, жарения). В этой связи ситуацию с загрязнением картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, нельзя считать критической либо опасной, тем не менее она требует пристального внимания со стороны как органов охраны здоровья, так и органов государственной власти и местного самоуправления.

Функциональные возможности геоинформационных систем позволили визуализировать пространственное распределение не канцерогенного и канцерогенного риска для населения от потребления картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки (рис. 2).

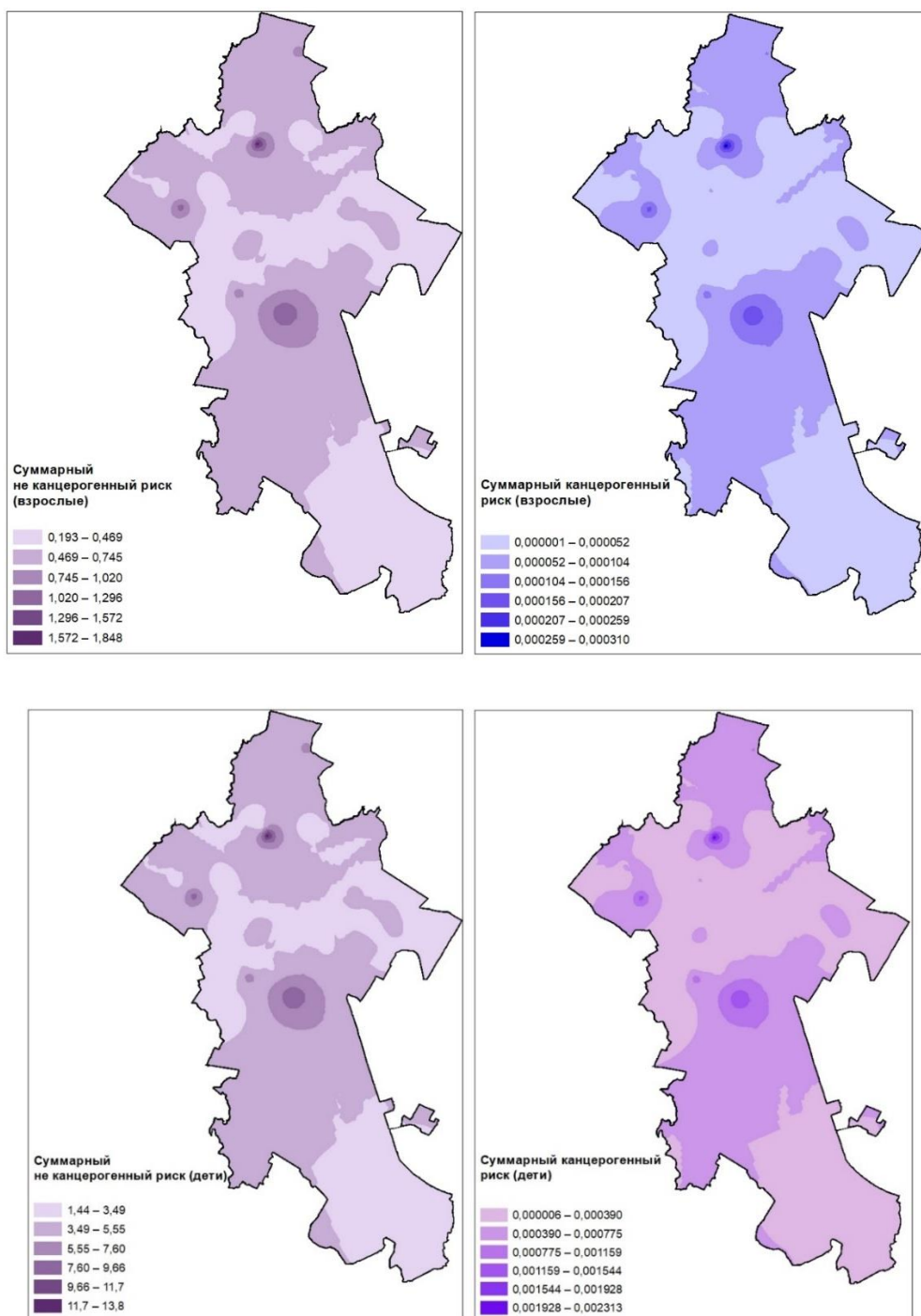


Рис. 2. Пространственное распределение неканцерогенного и канцерогенного риска для населения от потребления картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

Поскольку основными загрязнителями картофеля в пределах территории интереса являются кадмий и свинец, зоны локализации неканцерогенного и канцерогенного риска совпадают. На территории г. Горки установлено наличие трех очагов высокого риска, которые в территориальном отношении сосредоточены в районе улиц Заслонова, Дзержинского, Молокова, Чапаева, Дворцовой и Соловьиной.

Стратегия управления риском для населения г. Горки вследствие загрязнения картофеля тяжелыми металлами предусматривает 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 (рис. 3).



Рис. 3. Стратегия управления не канцерогенным и канцерогенным риском для населения от потребления картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

Учитывая то, что риск для здоровья населения г. Горки от употребления картофеля, выращиваемого в пределах агроселитебных ландшафтов, при существующем уровне его загрязнения оценивается как средний, а в отдельных случаях как высокий и чрезвычайно высокий, а также то, что картофель составляет значительную долю в структуре рациона жителей городов и поселков городского типа в Республике Беларусь, целесообразным представляется информирование жителей об опасности и обеспечение мониторинга качества растениеводческой продукции, выращиваемой населением в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки. 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 в своем восприятии риска, ориентирующиеся не только на его количественные характеристики и возможные последствия для здоровья, но и на устойчивые сформировавшиеся стереотипы и часто ошибочно сформированное общественное мнение, что может привести как к недооценке, так и к переоценке риска.

Заключение

Оценка риска развития неканцерогенных эффектов, выполненная посредством определения значений коэффициентов опасности отдельных элементов и суммарного индекса их опасности, свидетельствует о необходимости усиления контроля за содержанием в картофеле, выращиваемом в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, кадмия, меди и свинца.

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

Результаты выполненных исследований могут быть использованы для разработки стратегии управления риском для здоровья населения малых городов Республики Беларусь вследствие загрязнения картофеля тяжелыми металлами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин [и др.] / под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. – М., 2002. – 408 с.
2. Heavy metals toxicity and the environment / [P. B. Tchounwou, C. G. Yedjou, A. K. Patlolla, D. J. Sutton] // NIH-PA Author Manuscript. – 2012. – Vol. 101. – P. 133–164.
3. Надточий, П. П. Канцерогенный и не канцерогенный риск от употребления картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Житомир / П. П. Надточий, Т. Н. Мыслыва, Ю. А. Белявский // Экологический вестник. – 2015. – № 1. – С. 80–87.
4. Zheng N. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, northeast of China / N. Zheng, J. Lui, Q. Wang // Science of the Total Environment. – 2010. – Vol. 408. – P. 726–733.

5. Ahmed, F. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh / F. Ahmed, H. Ishiga // *Atmospheric Environment*. – 2006. – Vol. 40. – P. 3835–3844.
6. Chonokhuu, S. Contamination and health risk assessment of heavy metals in the soil of major cities in Mongolia / S. Chonokhuu, Ch. Batbold, B. Chuluunpurev [et all] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2019. – Vol. 16. – P. 2552.
7. Harmanescu, M. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County, Romania / M. Harmanescu, L. M. Alda, D. M. Bordean [et all] // *Chemistry Central Journal*. – 2011. – Vol. 5(64). – P. 2–10.
8. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин [и др.] / под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. – М., 2002. – 408 с.
9. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Ю. А. Рахманин, С. М. Новиков, Т. А. Шашина [и др.] – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
10. Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям. – [Электронный ресурс]: приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации №614 от 19 августа 2016 г. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420374878>. Дата доступа: 14.01.2022 г.
11. Рациональные нормы потребления пищевых продуктов. – [Электронный ресурс]: официального сайт Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по продовольствию. – Режим доступа: <http://www.new.belproduct.com/o-centre>. Дата доступа: 14.01.2022 г.
12. Мыслыва, Т. Н. Моделирование и прогнозирование пространственного распределения загрязнения тяжелыми металлами картофеля и овощей, выращиваемых на агроселитебных территориях / Т. Н. Мыслыва, О. Н. Левшук // *Мелиорация*. – 2021. – № 3. – С. 85–98.
13. Картофель, питание и диета: название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Секретариат Международного года картофеля; Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (FAO). – Режим доступа: <http://www.fao.org/potato-2008/ru/potato/factsheets.html>.
14. Variation in heavy metal concentrations of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars / E. Öztürk, E. Atsan, T. Polat, K. Kara // *Journal of Animal and Plant Sciences*. – 2011. – Vol. 21(2). – P. 235–239.
15. Социальное положение и уровень жизни населения Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2019. – 264 с.
16. Савченко, О. В. Влияние загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами на здоровье детей дошкольного возраста / О. В. Савченко // *Экология человека*. – 2018. – № 3. – С. 16–20.
17. González, H. S. Heavy metals in soils and the remediation potential of bacteria associated with the plant microbiome / H. S. González, T. Ghneim-Herrera // *Frontiers in Environmental Science*. – 2021. – Vol. 9. – P. 1–15.