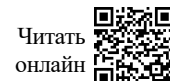


УДК 613.26; 614.31
DOI: 10.21668/health.risk/2024.1.05



Научная статья

КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ КОНТАМИНАЦИЕЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Д.О. Горбачев

Самарский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

Пищевые продукты являются не только источником энергии и незаменимых веществ, но и антропогенных контаминантов – тяжелых металлов. Целью исследования являлась оценка риска здоровью населения, обусловленного контаминацией пищевых продуктов тяжелыми металлами, с учетом особенностей пищевых предпочтений. Проведено эпидемиологическое исследование фактического питания взрослого населения Самарской области, объем выборки составил 1856 человек.

На первом этапе с помощью факторного анализа установлена приверженность респондентов к определенной модели пищевого предпочтения, на втором этапе методом кластерного анализа сформировано пять однородных групп (кластеров) лиц со схожими типами питания. Первый кластер объединил лиц с максимальной приверженностью к высокому уровню потребления всех изучаемых пищевых продуктов, 2-й кластер характеризовался приверженностью к потреблению высококалорийной пищи – хлебобулочных, кондитерских, колбасных изделий, картофеля, яиц, сыра. У лиц из 3-го кластера отмечено выраженное предпочтение потребления овощей, фруктов и молочных продуктов. Лица из 4-го кластера имели минимальную приверженность ко всем изучаемым пищевым продуктам. Пятый кластер представлен лицами, имеющими максимальные предпочтения к потреблению мяса и мясных продуктов, копченостей, маринованных продуктов, соленой рыбы. Содержание кадмия, ртути, свинца, мышьяка в пищевых продуктах оценивали атомно-абсорбционным и фотометрическим методами. Использовались данные Регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга Управления Роспотребнадзора по Самарской области. Оценка риска канцерогенных и неканцерогенных эффектов проводилась с учетом современных методических подходов в каждом из пяти сформированных кластеров.

Установлено, что во всех сформированных пищевых кластерах коэффициенты опасности при поступлении контаминантов в медианной концентрации и по 90-му перцентилю не превышали допустимого уровня. Во всех кластерах наибольшему риску подвергается эндокринная система ($HI = 1,68 \div 1,25$). Во всех кластерах уровень индивидуального и популяционного канцерогенного риска был сформирован мышьяком (медианная концентрация). Риск был максимальным среди лиц, чьи рационы отличались высокими уровнями потребления высококалорийных изделий. Применение кластерного подхода позволяет выявлять наиболее уязвимые группы населения с точки зрения рисков нагрузки для принятия управленческих решений и проведения профилактических мероприятий.

Ключевые слова: контаминация, тяжелые металлы, кластерный анализ, риски здоровью населения, фактическое питание, пищевые предпочтения, канцерогенный риск, неканцерогенный риск.

Питание оказывает огромное влияние на формирование здоровья человека. Нутритивный фактор может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на организм: с одной стороны, пища является источником незаменимых веществ, с другой стороны, чужеродные компоненты – ксенобиотики, находящиеся в пищевых продуктах, – способны отрицательно воздействовать на человека. Поскольку каждый индивид имеет определенные пищевые предпочтения, выражающиеся в различном количественном и качественном потреблении различных пищевых продуктов, соответственно, и уровень потреб-

ления с пищей чужеродных компонентов у различных групп будет отличаться. Одними из наиболее опасных для организма ксенобиотиков признаны тяжелые металлы. Загрязнение пищевых продуктов тяжелыми металлами представляет собой глобальную проблему для здоровья человека [1], поскольку они представляют собой небiorазлагаемые загрязнители, накапливающиеся и мигрирующие в почву [2]. Тяжелые металлы встречаются во всех экосистемах, при этом их естественные концентрации варьируются в зависимости от местной геологии, при этом хозяйственная деятельность человека приводит к накопле-

© Горбачев Д.О., 2024

Горбачев Дмитрий Олегович – доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой общей гигиены (e-mail: d.o.gorbachev@samsmu.ru; тел.: 8 (846) 374-10-04 (доб. 4617); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8044-9806>).

нию тяжелых металлов в значительных концентрациях в объектах окружающей среды [3]. Ряд тяжелых металлов, к которым относятся никель, железо, магний, медь и цинк, в пищевых продуктах в низких концентрациях являются важными компонентами при реализации важнейших биологических функций организма, в частности, метаболических процессов (цитохром и ферментные функции) [4, 5]. Другие элементы, к которым относятся свинец, кадмий, ртуть, мышьяк и алюминий, оказывают токсическое воздействие на организм даже в низких концентрациях, при этом не имея существенной биологической ценности для человека, и классифицируются как несущественные для метаболических и биологических функций [6–8].

Неблагоприятное влияние тяжелых металлов обусловлено острыми или хроническими токсическими эффектами на основные метаболические процессы, кумулятивность тяжелых металлов в органах и системах организма приводит к нарушениям антиоксидантной защиты, повышая риск развития окислительного стресса [9]. При этом формируются риски развития злокачественных новообразований, репродуктивных нарушений, заболеваний сердечно-сосудистой, эндокринной и нервной систем [10].

По данным ВОЗ, по состоянию на 1 июня 2020 г. мышьяк, кадмий, свинец и ртуть входят в число 10 химических веществ, вызывающих серьезную озабоченность в области общественного здравоохранения [11]. Несмотря на то, что токсичность этих элементов общеизвестна, их разнообразное технологическое, медицинское и сельскохозяйственное применение до сих пор представляет огромную угрозу для здоровья человека.

В отечественных исследованиях по оценке риска, обусловленного контаминацией пищевых продуктов, в основном используются данные Федеральной службы государственной статистики о среднедушевом годовом потреблении основных групп пищевых продуктов [12–14]. С одной стороны, данная методика упрощает процедуру оценки риска и не требует проведения специальных эпидемиологических исследований питания населения, с другой стороны, в данном случае мы получаем усредненные показатели риска без учета особенностей пищевых предпочтений в различных группах населения. Тем не менее в литературе встречаются исследования, касающиеся оценки рисков, основанных на данных фактического питания, получаемых методами 24-часового (суточного) воспроизведения рациона и частотной оценки рациона, что дает более точную оценку рисков, необходимую для принятия управленческих решений и проведения профилактических мероприятий [15]. Кроме того, расчет экспозиции контаминантами в соответствии с действующими на территории РФ рекомендациями проводится, исходя из стандартной величины массы тела в 70 кг, аналогичным образом и в зарубежных работах используется подход учета средней массы тела в обследованной группе. В част-

ности, на основании последних статистических данных, представленных Национальной комиссией здравоохранения КНР в 2020 г., средняя масса тела взрослых мужчин и женщин составила 69,6 и 59 кг соответственно и учитывалась при расчете неканцерогенного и канцерогенного рисков, при этом использование в расчетах индивидуальных значений массы тела позволяет повысить точность определения рисковой нагрузки [16].

Таким образом, в настоящее время весьма актуальным остается решение гигиенической проблемы по оценке риска здоровью населения, обусловленного контаминацией пищи тяжелыми металлами, с учетом использования эпидемиологических методов на основе индивидуальной оценки структуры рациона, что в конечном счете позволит получать наиболее точные результаты рисковой нагрузки, принимать управленческие решения по снижению указанного риска в различных группах населения с учетом индивидуальных пищевых предпочтений.

Цель исследования – оценка риска здоровью населения, обусловленного контаминацией пищевых продуктов тяжелыми металлами, на основе кластерного анализа фактического питания.

Материалы и методы. Объект исследования – взрослое трудоспособное население, постоянно проживающее на территории Самарской области ($n = 1856$), включающее работников региональных промышленных предприятий топливно-энергетического комплекса, автомобилестроения, пищевых производств, офисного сектора, учреждений здравоохранения, образования и агропромышленного комплекса. Для анализа фактического питания были составлены опросники на основе частотной оценки рационов, учитывающие потребление различных групп пищевых продуктов с учетом размера порций за предыдущий месяц, для наглядности использовался атлас фотографий продуктов.

На первом этапе оценки фактического питания с помощью факторного анализа получена приверженность к определенной модели пищевого предпочтения, модели питания включали пищевые продукты с величиной факторной нагрузки более 0,3. На втором этапе проведены кластеризация групп лиц со схожими пищевыми предпочтениями (выделение однородных групп методом k -средних МакКина, построение дендрограмм методом Варда, расстояние – Евклидово), дисперсионный анализ. При проведении анализа дендрограмм (объединение методом Варда, расстояние – Евклидово) получены средние значения приверженности к моделям питания ($M \pm SD$). На основе проведенного дисперсионного анализа по сформированным пищевым кластерам получены высокозначимые различия средней приверженности ($p < 0,001$) по каждой модели питания. Отрицательные значения приверженности свидетельствовали о низком уровне потребления пищевых продуктов в конкретной модели питания, положительные значения – о высоком уровне по-

ребления пищевых продуктов. При этом в основу формирования конкретного кластера легли наибольшие значения приверженности к потреблению продуктов (модели питания) с величиной факторной нагрузки более 0,3. На основе полученных данных проведена систематизация рационов в авторском программном комплексе «Нутри-проф» (версия 2.9) с однородными пищевыми предпочтениями, позволяющая определить потребление основных групп пищевых продуктов в каждом из пяти сформированных кластеров питания [17]. Далее была проведена оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков, связанных с поступлением тяжелых металлов с пищевыми продуктами, в каждом из пяти пищевых кластеров. Контаминация пищевых продуктов тяжелыми металлами, потребляемых населением, оценивалась по кадмию, ртути, свинцу, мышьяку. Пищевые продукты были представлены следующими группами: хлеб и хлебные продукты, масло растительное и другие жиры, молоко и молочные продукты, мясо и мясные продукты, яйцо, рыба и рыбные продукты, сахар и кондитерские изделия, фрукты и ягоды, овощи и бахчевые, картофель. В анализе использовались данные Регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга Управления Роспотребнадзора по Самарской области, всего было проанализировано 82 354 результата исследований проб за 12-летний период. При расчете экспозиции учитывалась концентрация контаминантов в медианных значениях и в максимальных – 90-й перцентиль с учетом значения средней массы тела, рассчитанной в каждом конкретном кластере по данным измерения массы тела респондентов. Оценка риска канцерогенных и неканцерогенных эффектов проводилась в соответствии с МУ 2.3.7.2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население»¹ и Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду»². Рассчитывался неканцерогенный риск (*HQ*) воздействия контаминанта с учетом экспозиции и референтного (безопасного) уровня воздействия, а также суммарный индекс опасности (*HI*) при комбинированном воздействии контаминантов, обладающих однонаправленным действием. Для расчета индивидуальных и популяционных канцерогенных рисков учитывалась среднесуточная доза контаминанта в течение жизни и фактор наклона. Статистическая обработка проводилась с применением современных методов обработки информации в компьютерной программе SPSS 25.

Результаты и их обсуждение. При проведении оценки фактического питания населения были обнаружены закономерности, свидетельствующие о схожем характере пищевого предпочтения среди обследованных лиц. На первом этапе статистической обработки данных с применением факторного анализа были сформированы пять моделей питания с учетом пищевых предпочтений по потреблению различных пищевых продуктов с факторной нагрузкой более 0,3. Модель питания № 1 характеризовалась разнообразием потребления различных продуктов растительного и животного происхождения и не имела четкой направленности. Модель питания № 2 характеризовалась избыточностью потребления продуктов с высокой степенью калорийности (хлебобулочных изделий, макарон, картофеля, кондитерских изделий, масел, колбас, сыров). Модель питания № 3 отличалась высокими факторными нагрузками при потреблении пищевых продуктов растительного происхождения (овощей, фруктов, орехов). Основу модели питания № 4 составили молочные продукты, рыба и яйца. Модель питания № 5 отличалась мясо-солевой направленностью за счет значительного потребления мясопродуктов, в том числе колбас, копченостей, соленой рыбы и маринованных овощей. Поскольку у каждого обследованного имелась приверженность в той или иной степени к полученным моделям питания, на втором этапе применялось кластерное решение, позволившее сформировать однородные группы лиц (выделение однородных групп осуществлено методом *k*-средних МакКина), далее был проведен предварительный анализ дендрограмм, получены средние значения приверженности к моделям питания ($M \pm SD$). На основе проведенного дисперсионного анализа по сформированным пищевым кластерам получены высокозначимые различия средней приверженности ($p < 0,001$) по каждой модели питания (табл. 1).

Для лиц, находящихся в первом кластере, отмечена одинаковая максимальная приверженность ко всем пяти моделям питания с высоким уровнем потребления всех изучаемых пищевых продуктов. Для лиц, находящихся во втором кластере, была характерна высокая приверженность к потреблению высококалорийных изделий – хлебобулочных изделий, картофеля, кондитерских изделий, колбасных изделий, яиц, сыра (модель № 2). Для лиц из 3-го кластера отмечено выраженное предпочтение в потреблении овощей и фруктов, а также молочных продуктов (модели № 3 и 4). Лица из 4-го кластера, в отличие от лиц из 1-го кластера, имели приверженность ко всем моделям питания, но с низким

¹ МУ 2.3.7.2519-09. Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население: методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 27 с.

² Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

уровнем потребления всех изучаемых пищевых продуктов. Основу 5-го кластера составили лица, имеющие максимальные предпочтения к потреблению мяса и мясных продуктов, копченостей, маринованных продуктов, соленой рыбы (модель № 5).

С использованием авторского программного комплекса «Нутри-проф» (версия 2.9) для каждого пищевого кластера получены данные потребления основных групп пищевых продуктов (табл. 2).

Для последующей оценки экспозиции и коэффициента опасности были использованы данные о содержании тяжелых металлов в основных группах пищевых продуктов в значениях медианной концен-

трации (Me) и концентрации по 90-му перцентилю (табл. 3).

Для всех четырех изучаемых тяжелых металлов в каждой группе лиц со схожими пищевыми предпочтениями были рассчитаны величина экспозиции и значения индекса опасности при различных условиях поступления в медианных значениях (Me) концентрации контаминантов и по 90-му перцентилю (табл. 4).

Во всех кластерах коэффициенты опасности (HQ) при поступлении контаминантов в медианной концентрации и по 90-му перцентилю не превышали допустимого уровня.

Таблица 1

Параметры приверженности лиц определенным моделям питания, $M \pm SD$

Модель питания	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5	P
№ 1	1,43 ± 1,73	-0,18 ± 1,21	0,86 ± 1,54	-0,28 ± 0,51	0,28 ± 1,21	< 0,001
№ 2	2,19 ± 1,57	1,54 ± 0,73	-0,78 ± 0,81	-0,37 ± 0,42	-0,19 ± 0,86	< 0,001
№ 3	1,72 ± 1,55	-0,08 ± 1,23	1,69 ± 1,48	-0,27 ± 0,44	-0,23 ± 0,79	< 0,001
№ 4	1,62 ± 1,88	-0,25 ± 1,23	0,67 ± 1,53	-0,17 ± 0,52	0,25 ± 1,27	< 0,001
№ 5	1,58 ± 2,83	-0,21 ± 0,79	-0,59 ± 0,77	-0,24 ± 0,39	1,54 ± 0,76	< 0,001

Таблица 2

Медианные значения потребления основных групп пищевых продуктов в зависимости от кластера питания, г/сут

Группа пищевых продуктов	Кластер				
	1	2	3	4	5
Хлеб и хлебные продукты	243,3	253,2	173,4	137,3	231,8
Масло растительное и другие жиры	47,7	50,1	34,5	28,8	51,0
Молоко и молочные продукты	130,4	133,4	140,0	129,3	132,1
Мясо и мясные продукты	143,6	152,3	80,5	77,0	170,7
Яйцо	22,7	19,7	17,5	19,7	26,0
Рыба и рыбные продукты	17,5	18,9	14,2	18,6	23,8
Сахар и кондитерские изделия	50,4	63,3	39,7	43,0	42,2
Фрукты и ягоды	114,0	105,8	149,9	126,8	101,9
Овощи и бахчевые	151,0	144,9	186,8	138,1	141,6
Картофель	76,2	85,5	92,3	72,9	81,6

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в группах пищевых продуктов, мг/кг

Группа пищевых продуктов	Кадмий		Ртуть		Свинец		Мышьяк	
	Me	90	Me	90	Me	90	Me	90
Хлеб и хлебные продукты	0,011	0,0258	0,0033	0,0112	0,0474	0,158	0,006	0,0087
Масло растительное и другие жиры	0,0087	0,0232	0,0034	0,00776	0,0223	0,0737	0,0040	0,0068
Молоко и молочные продукты	0,0134	0,0155	0,0017	0,0031	0,0362	0,0655	0,0074	0,0084
Мясо и мясные продукты	0,0073	0,0264	0,0052	0,01277	0,0441	0,111	0,0041	0,0048
Яйцо	0,0037	0,0042	0,0034	0,00461	0,0248	0,056	0,008	0,0094
Рыба и рыбные продукты	0,0122	0,0364	0,0162	0,04733	0,0749	0,2552	0,005	0,0092
Сахар и кондитерские изделия	0,0124	0,0262	0,0041	0,01769	0,0312	0,1047	0,0061	0,0069
Фрукты и ягоды	0,0112	0,0114	0,0023	0,00561	0,0256	0,0712	0,005	0,0092
Овощи и бахчевые	0,0056	0,0158	0,0022	0,00913	0,0361	0,133	0,002	0,0077
Картофель	0,0055	0,0073	0,0018	0,0088	0,0605	0,1273	0,006	0,0081

Таблица 4

Значения экспозиции, мг/кг, и коэффициентов опасности с учетом пищевых предпочтений и различных сценариев поступления контаминантов

Группа пищевых продуктов	Кластер									
	1		2		3		4		5	
	Exp Me	Exp 90	Exp Me	Exp 90	Exp Me	Exp 90	Exp Me	Exp 90	Exp Me	Exp 90
<i>Кадмий</i>										
Хлеб и хлебные продукты	3,08E-05	7,21E-05	3,20E-05	7,51E-05	2,20E-05	5,15E-05	1,74E-05	4,07E-05	2,93E-05	6,87E-05
Масло растительное и другие жиры	4,77E-06	1,27E-05	5,01E-06	1,34E-05	3,45E-06	9,21E-06	2,90E-06	7,74E-06	5,07E-06	1,35E-05
Молоко и молочные продукты	2,01E-05	2,32E-05	2,06E-05	2,38E-05	2,16E-05	2,49E-05	1,99E-05	2,30E-05	2,03E-05	2,35E-05
Мясо и мясные продукты	1,20E-05	4,36E-05	1,27E-05	4,61E-05	6,76E-06	2,44E-05	6,76E-06	2,44E-05	1,43E-05	5,18E-05
Яйцо	9,67E-07	1,10E-06	8,39E-07	9,52E-07	7,46E-07	8,46E-07	8,39E-07	9,52E-07	1,11E-06	1,26E-06
Рыба и рыбные продукты	2,46E-06	7,34E-06	2,65E-06	7,91E-06	2,00E-06	5,96E-06	2,61E-06	7,79E-06	3,34E-06	9,97E-06
Сахар и кондитерские изделия	7,19E-06	1,52E-05	9,02E-06	1,91E-05	5,70E-06	1,20E-05	6,13E-06	1,30E-05	6,01E-06	1,27E-05
Фрукты и ягоды	1,47E-05	1,49E-05	1,36E-05	1,39E-05	1,93E-05	1,96E-05	1,63E-05	1,66E-05	1,31E-05	1,34E-05
Овощи и бахчевые	9,72E-06	2,74E-05	9,33E-06	2,63E-05	1,20E-05	3,39E-05	8,89E-06	2,51E-05	9,12E-06	2,57E-05
Картофель	4,81E-06	6,39E-06	5,40E-06	7,17E-06	5,84E-06	7,75E-06	4,61E-06	6,11E-06	5,16E-06	6,85E-06
<i>HQ</i>	0,22	0,45	0,22	0,46	0,19	0,38	0,17	0,33	0,21	0,45
<i>Ртуть</i>										
Хлеб и хлебные продукты	1,04E-05	3,54E-05	1,08E-05	3,68E-05	7,44E-06	2,53E-05	5,88E-06	2,00E-05	9,93E-06	3,37E-05
Масло растительное и другие жиры	2,10E-06	4,80E-06	2,21E-06	5,05E-06	1,52E-06	3,48E-06	1,28E-06	2,93E-06	2,24E-06	5,11E-06
Молоко и молочные продукты	2,88E-06	5,25E-06	2,95E-06	5,37E-06	3,09E-06	5,64E-06	2,86E-06	5,21E-06	2,92E-06	5,32E-06
Мясо и мясные продукты	9,70E-06	2,38E-05	1,03E-05	2,52E-05	5,44E-06	1,34E-05	5,44E-06	1,34E-05	1,15E-05	2,83E-05
Яйцо	1,00E-06	1,36E-06	8,71E-07	1,18E-06	7,74E-07	1,05E-06	8,71E-07	1,18E-06	1,15E-06	1,56E-06
Рыба и рыбные продукты	3,69E-06	1,08E-05	3,98E-06	1,16E-05	3,00E-06	8,76E-06	3,92E-06	1,15E-05	5,01E-06	1,47E-05
Сахар и кондитерские изделия	2,68E-06	1,16E-05	3,37E-06	1,45E-05	2,13E-06	9,19E-06	2,29E-06	9,88E-06	2,25E-06	9,69E-06
Фрукты и ягоды	3,40E-06	8,30E-06	3,16E-06	7,70E-06	4,48E-06	1,09E-05	3,79E-06	9,24E-06	3,04E-06	7,43E-06
Овощи и бахчевые	4,31E-06	1,79E-05	4,14E-06	1,72E-05	5,34E-06	2,22E-05	3,95E-06	1,64E-05	4,05E-06	1,68E-05
Картофель	1,78E-06	8,70E-06	2,00E-06	9,77E-06	2,16E-06	1,06E-05	1,70E-06	8,33E-06	1,91E-06	9,33E-06
<i>HQ</i>	0,14	0,42	0,14	0,44	0,11	0,36	0,1	0,32	0,14	0,44
<i>Свинец</i>										
Хлеб и хлебные продукты	1,04E-05	3,54E-05	1,08E-05	3,68E-05	7,44E-06	2,53E-05	5,88E-06	2,00E-05	9,93E-06	3,37E-05
Масло растительное и другие жиры	2,10E-06	4,80E-06	2,21E-06	5,05E-06	1,52E-06	3,48E-06	1,28E-06	2,93E-06	2,24E-06	5,11E-06
Молоко и молочные продукты	2,88E-06	5,25E-06	2,95E-06	5,37E-06	3,09E-06	5,64E-06	2,86E-06	5,21E-06	2,92E-06	5,32E-06
Мясо и мясные продукты	9,70E-06	2,38E-05	1,03E-05	2,52E-05	5,44E-06	1,34E-05	5,44E-06	1,34E-05	1,15E-05	2,83E-05
Яйцо	1,00E-06	1,36E-06	8,71E-07	1,18E-06	7,74E-07	1,05E-06	8,71E-07	1,18E-06	1,15E-06	1,56E-06
Рыба и рыбные продукты	3,69E-06	1,08E-05	3,98E-06	1,16E-05	3,00E-06	8,76E-06	3,92E-06	1,15E-05	5,01E-06	1,47E-05
Сахар и кондитерские изделия	2,68E-06	1,16E-05	3,37E-06	1,45E-05	2,13E-06	9,19E-06	2,29E-06	9,88E-06	2,25E-06	9,69E-06
Фрукты и ягоды	3,40E-06	8,30E-06	3,16E-06	7,70E-06	4,48E-06	1,09E-05	3,79E-06	9,24E-06	3,04E-06	7,43E-06
Овощи и бахчевые	4,31E-06	1,79E-05	4,14E-06	1,72E-05	5,34E-06	2,22E-05	3,95E-06	1,64E-05	4,05E-06	1,68E-05
Картофель	1,78E-06	8,70E-06	2,00E-06	9,77E-06	2,16E-06	1,06E-05	1,70E-06	8,33E-06	1,91E-06	9,33E-06
<i>HQ</i>	0,15	0,42	0,15	0,44	0,13	0,38	0,11	0,33	0,15	0,43
<i>Мышьяк</i>										
Хлеб и хлебные продукты	1,90E-05	2,75E-05	1,97E-05	2,86E-05	1,35E-05	1,96E-05	1,07E-05	1,55E-05	1,81E-05	2,62E-05
Масло растительное и другие жиры	2,48E-06	4,21E-06	2,60E-06	4,43E-06	1,79E-06	3,05E-06	1,51E-06	2,56E-06	2,63E-06	4,48E-06
Молоко и молочные продукты	1,25E-05	1,42E-05	1,28E-05	1,46E-05	1,35E-05	1,53E-05	1,24E-05	1,41E-05	1,27E-05	1,44E-05
Мясо и мясные продукты	7,64E-06	8,20E-06	8,08E-06	8,67E-06	4,29E-06	4,60E-06	4,29E-06	4,60E-06	9,09E-06	9,75E-06
Яйцо	2,36E-06	2,66E-06	2,05E-06	2,31E-06	1,82E-06	2,05E-06	2,05E-06	2,31E-06	2,70E-06	3,04E-06
Рыба и рыбные продукты	1,14E-06	2,05E-06	1,23E-06	2,21E-06	9,25E-07	1,67E-06	1,21E-06	2,18E-06	1,55E-06	2,79E-06
Сахар и кондитерские изделия	4,19E-06	4,52E-06	5,26E-06	5,67E-06	3,32E-06	3,58E-06	3,58E-06	3,85E-06	3,51E-06	3,78E-06
Фрукты и ягоды	7,40E-06	1,33E-05	6,87E-06	1,24E-05	9,73E-06	1,75E-05	8,24E-06	1,48E-05	6,62E-06	1,19E-05
Овощи и бахчевые	3,92E-06	1,51E-05	3,76E-06	1,45E-05	4,85E-06	1,87E-05	3,59E-06	1,38E-05	3,68E-06	1,42E-05
Картофель	5,93E-06	7,91E-06	6,66E-06	8,88E-06	7,19E-06	9,59E-06	5,68E-06	7,57E-06	6,36E-06	8,48E-06
<i>HQ</i>	0,22	0,33	0,23	0,34	0,2	0,32	0,18	0,27	0,22	0,33

При этом по итогам оценки коэффициентов опасности наибольший неканцерогенный риск при различных сценариях поступления контаминантов обусловлен поступлением свинца в 1, 2-м и 5-м кластерах, кадмия – в 1, 2-м и 5-м кластерах. Наибольший неканцерогенный риск, обусловленный поступлением с пищей ртути, характерен для 1, 2-го и 5-го кластеров, связанный с поступлением мышьяка – для 2-го кластера. Результаты исследований В.М. Боева с соавт. установили, что HQ при поступлении отдельных контаминантов, а также HI при комбинированном поступлении свинца, кадмия, мышьяка и ртути с пищевыми продуктами в медианных концентрациях и по 90-му перцентилю соответствовали допустимому уровню [18]. В работах А.Г. Сетко с соавт. оценка неканцерогенного риска показала, что величина риска в динамике с 2007–2015 гг. по приоритетным загрязнителям (нитратам, ртути, мышьяку, кадмию) соответствовала допустимому уровню ($HQ \leq 1$) [19].

Изучение вклада конкретных групп пищевых продуктов, формирующих максимальную рисковую нагрузку по индексу опасности, показало, что хлеб и хлебные продукты играют основную роль в формировании рисков как при поступлении всех изучаемых контаминантов в медианных значениях концентрации, так и в концентрации контаминантов по 90-му перцентилю в первом и втором кластерах питания, при этом наибольший вклад обусловлен поступлением свинца и кадмия в максимальных концентрациях с данным видом пищевой продукции (табл. 5).

Вклад потребления молока и молочных продуктов в формирование коэффициента опасности по кадмию в медианных концентрациях отмечен в максимальных значениях в 3-м и 4-м кластерах (21,7–23,1 %). На долю мясопродуктов при формировании коэффициента опасности с учетом поступления ртути в медианных концентрациях приходится от 17 до 26,2 %, наибольший вклад характерен для 1, 2-го и 5-го кластеров. При рассмотрении вклада сахара и кондитерских изделий в формирование коэффициента опасности по 90-му перцентилю показано, что максимальные значения 10,8 и 10,1 % приходится на 4-й кластер питания за счет поступления ртути. Растительная направленность 3-го кластера указывает на максимальный вклад овощей и бахчевых в формирование коэффициента опасности по свинцу. Вклад потребления яиц, картофеля, рыбы и рыбных продуктов в среднем не превышает 10 % в формировании неканцерогенного риска по изучаемым контаминантам при различных сценариях поступления, что также определяется характером индивидуального потребления.

Анализ литературных данных по контаминации пищевых продуктов тяжелыми металлами показал, что в основе изучения рискованной нагрузки зачастую используются данные Федеральной службы государственной статистики о среднелюдском годовом потреблении основных групп пищевых продуктов, ко-

торые свидетельствуют о региональных особенностях формирования рискованной нагрузки. Так, результаты оценки экспозиции тяжелыми металлами на территории Оренбургской области на основе среднелюдского потребления пищевых продуктов показали, что первое ранговое место по вкладу в общее значение экспозиции свинцом, кадмием и мышьяком занимали молоко и молочные продукты, второе и третье места по вкладу в общее значение экспозиции свинцом, кадмием и мышьяком занимали овощи и бахчевые и хлебные продукты соответственно, первое ранговое место по вкладу в общее значение экспозиции ртутью занимали овощи и бахчевые, второе – хлебные продукты, третье – молоко и молочные продукты [18]. Оценка неканцерогенного риска для здоровья населения 16 районов Республики Башкортостан от контаминации свинцом, кадмием, хромом, никелем, медью, цинком выявила три района с высокими значениями риска ($HI = 1,01–1,34$), обусловленного потреблением овощных культур населением данных районов [20]. На территории Саратовской области наибольший вклад в формирование неканцерогенного риска от загрязнения пищевых продуктов тяжелыми металлами вносили хлебные и молочные продукты [21]. В данном же исследовании был использован методический подход, который учитывает особенности пищевых предпочтений в исследуемой популяции, что позволяет более точно проводить оценку рискованной нагрузки, обусловленной контаминацией, выявлять наиболее уязвимые группы населения с точки зрения высокой рискованной нагрузки для принятия управленческих решений и организации профилактических мероприятий.

Оценка индекса опасности при комбинированном воздействии тяжелых металлов на критические органы и системы была проведена в различных кластерах по пессимистическому сценарию потребления контаминантов с пищевыми продуктами в концентрации по 90-му перцентилю. На основании полученных результатов показано, что наибольший суммарный индекс опасности при одновременном воздействии кадмия, ртути, свинца и мышьяка на эндокринную систему ($HI = 1,68$) отмечен во 2-м кластере, наименьший уровень риска на указанную систему отмечен в 4-м кластере ($HI = 1,25$). При комбинированном воздействии на нервную систему ртути, мышьяка и свинца в максимальной концентрации наибольшее значение суммарного индекса опасности также было характерно для 2-го кластера ($HI = 1,22$), а минимальное – для 4-го кластера питания ($HI = 0,92$). Риск неблагоприятного влияния на почки при поступлении кадмия и ртути оценивается как допустимый. Уровень риска при комбинированном поступлении ртути и свинца для репродуктивной системы, при поступлении мышьяка для сердечно-сосудистой системы, кожи и желудочно-кишечного тракта, поступлении свинца для кровеносной системы характеризовался также как допустимый.

Таблица 5

Вклад пищевых продуктов, %, в формирование коэффициента опасности в различных кластерах питания с учетом перорального поступления контаминантов

Группа пищевых продуктов	Кластер питания	Кадмий		Ртуть		Свинец		Мышьяк	
		Me	90	Me	90	Me	90	Me	90
Хлеб и хлебные продукты	1	28,6	32,2	24,8	27,7	28,8	33,3	28,6	27,2
	2	28,8	32,1	24,8	27,4	28,8	33,5	28,7	27,6
	3	22,1	27,1	21,0	22,9	22,5	26,3	22,3	20,3
	4	20,1	24,6	18,4	20,4	20,8	24,6	20,1	18,8
	5	27,4	30,2	22,6	25,6	26,9	31,5	27,0	26,5
Масло растительное и другие жиры	1	4,4	5,7	5,0	3,8	2,7	3,0	3,7	4,2
	2	4,5	5,7	5,1	3,8	2,7	3,1	3,8	4,3
	3	3,5	4,8	4,3	3,2	2,1	2,4	3,0	3,2
	4	3,4	4,7	4,0	3,0	2,1	2,4	2,8	3,1
	5	4,7	5,9	5,1	3,9	2,8	3,2	3,9	4,5
Молоко и молочные продукты	1	18,7	10,4	6,9	4,1	11,8	7,4	18,9	14,1
	2	18,5	10,2	6,7	4,0	11,6	7,3	18,6	14,1
	3	21,7	13,1	8,7	5,1	13,9	8,8	22,1	15,8
	4	23,1	13,9	8,9	5,3	15,0	9,6	23,4	17,1
	5	19,0	10,3	6,6	4,0	11,7	7,4	19,0	14,6
Мясо и мясные продукты	1	11,2	19,4	23,1	18,6	15,8	13,8	11,5	8,9
	2	11,5	19,7	23,4	18,7	16,1	14,1	11,7	9,1
	3	6,8	12,8	15,4	12,1	9,7	8,6	7,1	5,2
	4	7,8	14,8	17,0	13,6	11,4	10,1	8,1	6,1
	5	13,4	22,8	26,2	21,5	18,4	16,3	13,6	9,9
Яйцо	1	0,9	0,5	2,4	1,1	1,4	1,1	3,6	2,7
	2	0,8	0,4	2,0	0,9	1,2	0,9	3,0	2,3
	3	0,8	0,4	2,2	1,0	1,2	0,9	3,0	2,2
	4	1,0	0,6	2,7	1,2	1,6	1,3	3,9	2,9
	5	1,0	0,6	2,6	1,2	1,6	1,3	4,0	3,1
Рыба и рыбные продукты	1	2,3	3,3	8,8	8,4	3,3	3,9	1,7	2,1
	2	2,4	3,4	9,1	8,6	3,4	4,0	1,8	2,2
	3	2,0	3,1	8,5	7,9	2,9	3,5	1,5	1,8
	4	3,0	4,7	12,3	11,7	4,5	5,4	2,3	2,7
	5	3,1	4,4	11,4	11,1	4,4	5,2	2,3	2,8
Сахар и кондитерские изделия	1	6,7	6,8	6,4	9,1	3,9	4,6	6,0	4,5
	2	8,1	8,2	7,7	10,8	4,7	5,5	7,3	5,5
	3	5,7	6,3	6,0	8,3	3,4	4,0	5,2	3,7
	4	7,1	7,8	7,2	10,1	4,3	5,1	6,4	4,7
	5	5,6	5,6	5,1	7,3	3,2	3,8	5,2	3,8
Фрукты и ягоды	1	13,7	6,7	8,1	6,5	7,3	7,0	11,2	13,5
	2	12,2	5,9	7,2	5,7	6,5	6,3	10,0	12,2
	3	19,4	10,3	12,7	9,9	10,5	10,2	16,0	18,5
	4	18,9	10,0	11,8	9,4	10,4	10,2	15,5	18,4
	5	12,3	5,9	6,9	5,6	6,4	6,2	9,9	12,0
Овощи и бахчевые	1	9,0	12,2	10,3	14,0	13,6	17,4	5,9	14,9
	2	8,4	11,3	9,5	12,8	12,6	16,1	5,5	14,0
	3	12,1	17,8	15,1	20,1	18,5	23,9	8,0	19,3
	4	10,3	15,2	12,3	16,7	15,9	20,8	6,8	16,8
	5	8,5	11,3	9,2	12,7	12,5	16,2	5,5	14,3
Картофель	1	4,5	2,9	4,2	6,8	11,5	8,4	8,9	7,9
	2	4,9	3,1	4,6	7,3	12,4	9,1	9,7	8,7
	3	5,9	4,1	6,1	9,6	15,3	11,3	11,8	10,0
	4	5,3	3,7	5,3	8,5	14,1	10,5	10,7	9,3
	5	4,8	3,0	4,3	7,1	12,1	8,9	9,5	8,6

Оценка индекса опасности при комбинированном воздействии тяжелых металлов на организм в аналогичных работах, проводимая без учета особенностей пищевых предпочтений в различных группах населения, установила, что самые высокие риски

определены для эндокринной системы, ЦНС, репродуктивной системы [18]. Химическая контаминация пищи также оказывает негативное влияние и на детское население как на наиболее уязвимую категорию населения с несовершенными системами защи-

ты от ксенобиотиков. Корреляционный анализ между химической контаминацией продуктов питания для детей раннего возраста и показателями первичной заболеваемости детского населения в Российской Федерации за 2012–2017 гг. установил взаимосвязь загрязнения потребляемой пищи изучаемыми тяжелыми металлами и первичной заболеваемостью эндокринной патологии как детей первого года жизни, так и детей от 0 до 14 лет по отдельным нозологиям: ожирение, инсулинзависимый и инсулиннезависимый сахарный диабет [22, 23]. Анализ указанных рисков необходим для прогнозирования развития неблагоприятных последствий со стороны ряда органов-мишеней при различных сценариях поступления контаминантов в различных возрастных группах [24–26].

Оценка канцерогенного риска с учетом перорального поступления кадмия, мышьяка и свинца показала, что при поступлении мышьяка в медианных значениях концентрации в 1, 2-м и 5-м кластерах уровень риска соответствовал третьему диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$), неприемлемому для населения, при этом максимальный уровень канцерогенного риска был характерен для 2-го кластера (табл. 6). Канцерогенный риск, обусловленный поступлением кадмия и свинца в медианных концентрациях, во всех кластерах соответствовал предельно допустимому риску.

Анализ популяционного риска для населения Самарской области при комбинированном поступлении изучаемых контаминантов в медианной концентрации показал, что наибольшее число новых случаев – 1,76 на 10 тысяч населения было установлено во 2-м кластере, только за счет поступления мышьяка в медианной концентрации число новых случаев было максимальным также во 2-м кластере – 1,03 на 10 тысяч населения в течение 70 лет.

При изучении канцерогенных рисков с учетом поступления тяжелых металлов в максимальных концентрациях (90-й перцентиль) установлено, что уровень указанного риска также соответствовал третьему диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$), неприемлемому для населения, при поступлении мышьяка во всех кластерах, при поступлении кадмия – во 2-м кластере.

При комбинированном поступлении всех трех изучаемых контаминантов в максимальной концен-

трации уровень канцерогенного риска соответствовал третьему диапазону во всех пяти кластерах. При этом наибольшее значение канцерогенного риска было отмечено во 2-м кластере.

Величина популяционного риска для населения Самарской области показала, что при поступлении мышьяка в концентрации по 90-му перцентилю (пессимистический сценарий) во 2-м кластере вероятность возникновения онкологических заболеваний признана максимальной – 1,6 нового случая на 10 тысяч населения в течение 70 лет, при поступлении кадмия максимальная вероятность отмечена в 1-м кластере – 1,01 нового случая на 10 тысяч населения, при поступлении свинца максимальная вероятность выявлена для второго кластера – 0,73 нового случая на 10 тысяч населения в течение 70 лет. При комбинированном поступлении изучаемых контаминантов в концентрации по 90-му перцентилю наибольшее число новых случаев – 3,33 на 10 тысяч населения – было установлено также во 2-м кластере.

Возникновение ряда злокачественных новообразований ЖКТ от перорального поступления канцерогенов с пищевыми продуктами было подтверждено эпидемиологическими исследованиями ряда авторов: так, для ободочной кишки приоритетными канцерогенами признаны кадмий, свинец и мышьяк, для рака ректосигмоидного соединения и прямой кишки приоритетными канцерогенами признан кадмий в продуктах питания [27, 28].

Таким образом, предложенная в ходе данного исследования оценка уровней рисков здоровью населения, обусловленных контаминацией пищевых продуктов тяжелыми металлами, с учетом кластеризации обследованных лиц по характеру пищевых предпочтений, а также с учетом фактической массы тела в каждом кластере позволяет наиболее точно проводить оценку указанных рисков и прогнозировать наступление неблагоприятных последствий в различных группах населения, указанная информация может использоваться для принятия управленческих решений, а также планирования деятельности в системе социально-гигиенического мониторинга. Кроме того, предложенный кластерный подход возможно использовать при оценке много-средового воздействия химических соединений на различные группы населения.

Таблица 6

Величина канцерогенного риска в различных кластерах питания по значениям концентрации тяжелых металлов с учетом различных сценариев поступления

Кластер питания	Мышьяк		Кадмий		Свинец	
	<i>Me</i>	90	<i>Me</i>	90	<i>Me</i>	90
1	1,01E-04	1,51E-04	4,61E-05	9,62E-05	2,43E-05	7,05E-05
2	1,03E-04	1,6E-04	4,77E-05	1,01E-04	2,53E-05	7,31E-05
3	9,11E-05	1,45E-04	4,26E-05	8,16E-05	2,21E-05	6,37E-05
4	7,93E-05	1,23E-04	3,69E-05	7,05E-05	1,89E-05	5,38E-05
5	1,01E-04	1,51E-04	4,59E-05	9,77E-05	2,48E-05	7,12E-05

Выводы. В ходе проведенного исследования на основе кластерного анализа фактического питания были сформированы пять групп населения со схожими пищевыми предпочтениями, получены данные о характере потребления основных групп пищевых продуктов в каждом кластере. Во всех кластерах коэффициенты опасности при поступлении контаминантов в медианной концентрации и по 90-му процентилю не превышали допустимого уровня, при этом наибольший неканцерогенный риск, обусловленный поступлением свинца, кадмия, ртути, выявлен среди лиц с высоким уровнем потребления всех изучаемых продуктов (первый кластер), кроме того, – среди лиц, чьи рационы отличались высокими уровнями потребления высококалорийных изделий из хлеба, картофеля, кондитерских изделий, продуктов переработки мяса и молока (второй кластер), а также среди обследованных с наибольшим потреблением мясных продуктов, продуктов переработки мяса, рыбы (пятый кластер).

На формирование рискованной нагрузки с учетом вклада основных групп пищевых продуктов влияют региональные аспекты потребления продуктов местного производства и ввозимых с других территорий. При различных сценариях поступления во всех сформированных пищевых кластерах наибольшему риску подвергается эндокринная система: максимальной уровень ($HI = 1,68$) выявлен в «высокока-

лорийном» втором кластере, минимальный уровень ($HI = 1,25$) – в кластере с минимальной приверженностью ко всем изучаемым пищевым продуктам.

Во всех кластерах уровень индивидуального канцерогенного риска, сформированного в основном за счет мышьяка, поступающего в медианных значениях концентрации, соответствовал третьему диапазону, неприемлемому для населения, и был максимальным в «высококалорийном» втором кластере. При поступлении мышьяка в максимальных концентрациях («пессимистический сценарий») уровень канцерогенного риска также соответствовал третьему диапазону, и был максимальным во втором кластере. При комбинированном поступлении всех трех изучаемых контаминантов в максимальной концентрации уровень канцерогенного риска соответствовал третьему диапазону во всех изучаемых кластерах. Максимальный популяционный риск при поступлении мышьяка в медианной концентрации выявлен во втором кластере – 1,03 на 10 тысяч населения в течение 70 лет, по 90-му процентилю – 1,6 нового случая на 10 тысяч населения в течение 70 лет, что в несколько раз выше, чем риск при поступлении кадмия и свинца.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic / M. Balali-Mood, K. Naseri, Z. Tahergorabi, M.R. Khazdair, M. Sadeghi // *Front. Pharmacol.* – 2021. – Vol. 12 – P. 643972. DOI: 10.3389/fphar.2021.643972
2. Mahmood A., Malik R.N. Human Health Risk Assessment of Heavy Metals via Consumption of Contaminated Vegetables Collected from Different Irrigation Sources in Lahore, Pakistan // *Arab. J. Chem.* – 2014. – Vol. 7. – P. 91–99. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.07.002
3. The Uptake and Bioaccumulation of Heavy Metals by Food Plants, Their Effects on Plants Nutrients, and Associated Health Risk: A Review / A. Khan, S. Khan, M.A. Khan, Z. Qamar, M. Waqas // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2015. – Vol. 22, № 18. – P. 13772–13799. DOI: 10.1007/s11356-015-4881-0
4. Nkansah M.A., Agorsor P.-I., Opoku F. Heavy Metal Contamination and Health Risk Assessment of Mechanically Milled Delicacy Called Fufu // *Int. J. Food Contam.* – 2021. – Vol. 8. – P. 6. DOI: 10.1186/s40550-021-00085-y
5. Heavy Metal Toxicity and the Environment / P.B. Tchounwou, C.G. Yedjou, A.K. Patlolla, D.J. Sutton // *Exp. Suppl.* – 2012. – Vol. 101. – P. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
6. Pratush A., Kumar A., Hu Z. Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review // *Int. Microbiol.* – 2018. – Vol. 21, № 3. – P. 97–106. DOI: 10.1007/s10123-018-0012-3
7. Factors Affecting the Aluminum, Arsenic, Cadmium and Lead Concentrations in the Knee Joint Structures / G. Li, C. Xiong, W. Xu, R. Mei, T. Cheng, X. Yu // *Front. Public Health.* – 2021. – Vol. 9. – P. 758074. DOI: 10.3389/fpubh.2021.758074
8. Igbokwe I.O., Igwenagu E., Igbokwe N.A. Aluminium Toxicosis: A Review of Toxic Actions and Effects // *Interdiscip. Toxicol.* – 2019. – Vol. 12, № 2. – P. 45–70. DOI: 10.2478/intox-2019-0007
9. Fu Z., Xi S. The Effects of Heavy Metals on Human Metabolism // *Toxicol. Mech. Methods.* – 2020. – Vol. 30, № 3. – P. 167–176. DOI: 10.1080/15376516.2019.1701594
10. Kim H.S., Kim Y.J., Seo Y.R. An overview of carcinogenic heavy metal: Molecular toxicity mechanism and prevention // *J. Cancer Prev.* – 2015. – Vol. 20, № 4. – P. 232–240. DOI: 10.15430/JCP.2015.20.4.232
11. Witkowska D., Słowik J., Chilicka K. Heavy Metals and Human Health: Possible Exposure Pathways and the Competition for Protein Binding Sites // *Molecules.* – 2021. – Vol. 26, № 19. – P. 6060. DOI: 10.3390/molecules26196060
12. Фролова О.А., Бочаров Е.П., Ахтямова Л.А. Оценка риска от воздействия химических контаминантов в пищевых продуктах // *Гигиена и санитария.* – 2016. – Т. 95, № 8. – С. 743–748. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-743-748
13. Контаминация пищевого сырья и пищевых продуктов в Иркутской области / И.Ю. Тармаева, Н.В. Ефимова, С.Ю. Баглушкина, А.И. Белых // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* – 2017. – № 10 (295). – С. 43–45. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-295-10-43-45

14. Оценка риска для здоровья населения, связанного с содержанием в растениеводческой продукции нитратов / О.Г. Богданова, Н.В. Ефимова, Е.Е. Багаева, Н.А. Гармаева // Вопросы питания. – 2021. – Т. 90, № 3 (535). – С. 40–49. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-3-40-49
15. Елисеев Ю.Ю., Чехомов С.Ю., Елисеева Ю.В. Гигиеническая оценка содержания нитратов в овощной продукции фермерских и личных подсобных хозяйств Саратовской области // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2021. – № 3. – С. 52–56. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-336-3-52-56
16. Novel Integrated Tiered Cumulative Risk Assessment of Heavy Metals in Food Homologous Traditional Chinese Medicine Based on a Real-Life-Exposure Scenario / Т.-Т. Zuo, Н.-Y. Jin, А.-Z. Chen, L. Zhang, S. Kang, А.-P. Li, F. Gao, F. Wei [et al.] // Front. Pharmacol. – 2022. – Vol. 13. – P. 908986. DOI: 10.3389/fphar.2022.908986
17. Горбачев Д.О. Применение программного комплекса «Нутри-проф» при оценке фактического питания и пищевого статуса населения // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – № 5. – С. 100–104. DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16482
18. Гигиеническая оценка риска здоровью населения при комбинированном пероральном поступлении тяжелых металлов / В.М. Боев, Е.А. Кряжева, Д.Н. Бегун, Е.Л. Борщук, Д.А. Кряжев // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 2. – С. 35–43. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.04
19. Сетко А.Г., Мрясова Ж.К., Тюрин А.В. Риск развития отклонений в состоянии здоровья детского населения, связанный с употреблением контаминированных продуктов питания // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 4. – С. 89–95. DOI: 10.21668/health.risk/2018.4.10
20. Результаты научно-исследовательских работ по оценке безопасности пищевых продуктов в рационе жителей промышленно развитого региона / А.Б. Бакиров, Р.А. Даукаев, Т.К. Ларионова, А.С. Фазлыева, М.В. Курилов, Г.Р. Аллаярова, С.Р. Афонькина, Е.Е. Зеленковская // Медицина труда и экология человека. – 2021. – № 4 (28). – С. 7–14. DOI: 10.24412/2411-3794-2021-10401
21. Потенциальный риск для здоровья сельского населения, связанный с потреблением местных продуктов питания, содержащих остаточные количества тяжелых металлов / С.Ю. Чехомов, Ю.В. Елисеева, Н.Н. Пичугина, Ю.Ю. Елисеев // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 934–939.
22. Тихонова Ю.Л. Сравнительный анализ химической контаминации продуктов питания для детей раннего возраста и первичной заболеваемости детей // Российский вестник гигиены. – 2021. – № 3. – С. 28–32. DOI: 10.24075/rbh.2021.021
23. Гигиенические аспекты безопасности пищевых продуктов для питания детей первого года жизни / Ю.Л. Тихонова, О.Ю. Милушкина, Н.А. Бокарева, Ф.У. Козырева // Вопросы детской диетологии. – 2022. – Т. 20, № 4. – С. 51–60. DOI: 10.20953/1727-5784-2022-4-51-60
24. Богданова О.Г., Ефимова Н.В., Молчанова О.А. Оценка потенциального риска причинения вреда здоровью, связанного с контаминацией пищевой продукции // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 12. – С. 1481–1486. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1481-1486
25. Heavy Metals and PAHs in Meat, Milk, and Seafood from Augusta Area (Southern Italy): Contamination Levels, Dietary Intake, and Human Exposure Assessment / С. Di Bella, А. Traina, С. Giosuè, D. Carpintieri, G.M. Lo Dico, А. Bellante, М. Del Core, F. Falco [et al.] // Front. Public Health. – 2020. – Vol. 8. – P. 273. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00273
26. Heavy metal accumulation in vegetable species and health risk assessment in Serbia / S. Pajević, D. Arsenov, N. Nikolić, M. Borišev, D. Orčić, M. Župunski, N. Mimica-Dukić // Environ. Monit. Assess. – 2018. – Vol. 190, № 8. – P. 459. DOI: 10.1007/s10661-018-6743-y
27. Заболеваемость злокачественными новообразованиями прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ободочной кишки и гигиеническая оценка канцерогенных химических веществ, поступающих пероральным путем / В.М. Боев, Е.Л. Борщук, Д.А. Кряжев, Е.К. Савина // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2017. – № 6 (291). – С. 13–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-291-6-13-17
28. 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

Горбачев Д.О. Кластерный подход в изучении рисков здоровью населения, обусловленных контаминацией пищевых продуктов тяжелыми металлами // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 1. – С. 47–58. DOI: 10.21668/health.risk/2024.1.05

UDC 613.26; 614.31
DOI: 10.21668/health.risk/2024.1.05.eng



Research article

CLUSTER APPROACH TO THE STUDY OF POPULATION HEALTH RISKS POSED BY CONTAMINATION OF FOOD PRODUCTS WITH HEAVY METALS

D.O. Gorbachev

Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya St., Samara, 443099, Russian Federation

Food products are a source of energy and essential substances but also of anthropogenic contaminants such as heavy metals. The aim of the study was to assess population health risks posed by contamination of food products with heavy metals, taking into account peculiarities of food preferences. An epidemiological study of actual nutrition of adult population of Samara region was conducted, the sample size was 1,856 people.

At the first stage, using factor analysis, respondents' adherence to a certain model of food preferences was established; at the second stage, 5 homogeneous groups (clusters) of people with similar types of nutrition were formed using cluster analysis. The first cluster included individuals with maximum commitment to a high level of consumption of all studied foods; the second cluster was characterized by commitment to consumption of high-calorie foods such as baked goods, confectionery, sausages, potatoes, eggs, and cheese. Individuals from the cluster 3 showed a distinct preference for consumption of vegetables, fruit and dairy products. Individuals from the cluster 4 had no special preferences for any of the studied foods. The fifth cluster included people who had maximum preference for meat and meat products, smoked meats, pickles and salted fish. The content of cadmium, mercury, lead, and arsenic in food products was assessed via atomic absorption and photometric methods. The study relied on using social and hygienic monitoring data from the Samara Regional Rospotrebnadzor (Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Wellbeing) collection. Risk assessment of carcinogenic and non-carcinogenic effects was carried out in each of the five formed clusters taking into account modern methodological approaches.

It was found that in all food clusters, the hazard coefficients for intake of contaminants in median concentrations and in the 90th percentile did not exceed permissible levels. In all clusters, the endocrine system was most at risk ($HI = 1.68 \div 1.25$). For all clusters, carcinogenic risk (for median concentrations) was created by arsenic both at the individual and the population level. The risk was the highest for people whose diets were characterized by high levels of consumption of high-calorie products. Cluster approach makes it possible to identify the most vulnerable groups of population in terms of risk burden for making managerial decisions and carrying out preventive measures.

Keywords: contamination, heavy metals, cluster analysis, public health risks, actual nutrition, food preferences, carcinogenic risk, non-carcinogenic risk.

References

1. Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., Khazdair M.R., Sadeghi M. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Front. Pharmacol.*, 2021, vol. 12, pp. 643972. DOI: 10.3389/fphar.2021.643972
2. Mahmood A., Malik R.N. Human Health Risk Assessment of Heavy Metals via Consumption of Contaminated Vegetables Collected from Different Irrigation Sources in Lahore, Pakistan. *Arab. J. Chem.*, 2014, vol. 7, pp. 91–99. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.07.002
3. Khan A., Khan S., Khan M.A., Qamar Z., Waqas M. The Uptake and Bioaccumulation of Heavy Metals by Food Plants, Their Effects on Plants Nutrients, and Associated Health Risk: A Review. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2015, vol. 22, no. 18, pp. 13772–13799. DOI: 10.1007/s11356-015-4881-0
4. Nkansah M.A., Agorsor P.-I., Opoku F. Heavy Metal Contamination and Health Risk Assessment of Mechanically Milled Delicacy Called Fufu. *Int. J. Food Contam.*, 2021, vol. 8, pp. 6. DOI: 10.1186/s40550-021-00085-y
5. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Exp. Suppl.*, 2012, vol. 101, pp. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
6. Pratush A., Kumar A., Hu Z. Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review. *Int. Microbiol.*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 97–106. DOI: 10.1007/s10123-018-0012-3
7. Li G., Xiong C., Xu W., Mei R., Cheng T., Yu X. Factors Affecting the Aluminum, Arsenic, Cadmium and Lead Concentrations in the Knee Joint Structures. *Front. Public Health*, 2021, vol. 9, pp. 758074. DOI: 10.3389/fpubh.2021.758074

© Gorbachev D.O., 2024

Dmitry O. Gorbachev – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Common Hygiene Department (e-mail: d.o.gorbachev@samsmu.ru; tel.: +7 (846) 374-10-04 (ext. 4617); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8044-9806>).

8. Igbokwe I.O., Igwenagu E., Igbokwe N.A. Aluminium Toxicosis: A Review of Toxic Actions and Effects. *Interdiscip. Toxicol.*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 45–70. DOI: 10.2478/intox-2019-0007
9. Fu Z., Xi S. The Effects of Heavy Metals on Human Metabolism. *Toxicol. Mech. Methods*, 2020, vol. 30, no. 3, pp. 167–176. DOI: 10.1080/15376516.2019.1701594
10. Kim H.S., Kim Y.J., Seo Y.R. An overview of carcinogenic heavy metal: Molecular toxicity mechanism and prevention. *J. Cancer Prev.*, 2015, vol. 20, no. 4, pp. 232–240. DOI: 10.15430/JCP.2015.20.4.232
11. Witkowska D., Słowik J., Chilicka K. Heavy Metals and Human Health: Possible Exposure Pathways and the Competition for Protein Binding Sites. *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 19, pp. 6060. DOI: 10.3390/molecules26196060
12. Frolova O.A., Bocharov E.P., Akhtyamova L.A. Risk assessment from exposure to chemical contaminants in food. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 8, pp. 743–748. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-743-748 (in Russian).
13. Tarmaeva I.Yu., Efimova N.V., Baglushkina S.Yu., Belykch A.I. Contamination of food raw materials and foodstuffs in Irkutsk region. *ZNiSO*, 2017, no. 10 (295), pp. 43–45. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-295-10-43-45 (in Russian).
14. Bogdanova O.G., Efimova N.V., Bagaeva E.E., Tarmaeva N.A. Risk assessment for public health associated with nitrate content in crop products. *Voprosy pitaniya*, 2021, vol. 90, no. 3 (535), pp. 40–49. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-3-40-49 (in Russian).
15. Eliseev Yu.Yu., Chekhomov S.Yu., Eliseeva Yu.V. Comparative Assessment of Nitrate Concentrations in Vegetables Grown on Commercial and Subsistence Farms in the Saratov Region. *ZNiSO*, 2021, no. 3, pp. 52–56. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-336-3-52-56 (in Russian).
16. Zuo T.-T., Jin H.-Y., Chen A.-Z., Zhang L., Kang S., Li A.-P., Gao F., Wei F. [et al.]. Novel Integrated Tiered Cumulative Risk Assessment of Heavy Metals in Food Homologous Traditional Chinese Medicine Based on a Real-Life-Exposure Scenario. *Front. Pharmacol.*, 2022, vol. 13, pp. 908986. DOI: 10.3389/fphar.2022.908986
17. Gorbachev D.O. The use of software complex "Nutri-prof" in the assessment of actual nutrition and nutritional status of the population. *Journal of New Medical Technologies, eEdition*, 2019, no. 5, pp. 100–104. DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16482 (in Russian).
18. Boev V.M., Kryazheva E.A., Begun D.N., Borshchuk E.L., Kryazhev D.A. Hygienic assessment of population health risks caused by combined oral introduction of heavy metals. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 2, pp. 35–43. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.04.eng
19. Setko A.G., Mryasova J.K., Turin A.V. Risk of health disorders in children caused by consumption of contaminated food products. *Health Risk Analysis*, 2018, no. 4, pp. 89–95. DOI: 10.21668/health.risk/2018.4.10.eng
20. Bakirov A.B., Daukaev R.A., Larionova T.K., Fazlieva A.S., Kurilov M.V., Allayarova G.R., Afonkina S.R., Zelenkovskaya E.E. The results of research work on the assessment of food safety in the diet of residents of an industrially developed region. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2021, no. 4 (28), pp. 7–14. DOI: 10.24412/2411-3794-2021-10401 (in Russian).
21. Chekhomov S.Yu., Eliseeva Yu.V., Pichugina N.N., Eliseev Yu.Yu. Potential risk for health of rural population related to consumption of local food products containing residual amounts of heavy metals. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal*, 2020, vol. 16, no. 4, pp. 934–939 (in Russian).
22. Tikhonova Yu.L. Comparative analysis of chemical contamination of baby foods and primary pediatric morbidity. *Rossiiskii vestnik gigieny*, 2021, no. 3, pp. 28–32. DOI: 10.24075/rbh.2021.021 (in Russian).
23. Tikhonova Yu.L., Milushkina O.Yu., Bokareva N.A., Kozyreva F.U. Hygienic aspects of food safety for infant nutrition. *Voprosy detskoj dietologii*, 2022, vol. 20, no. 4, pp. 51–60. DOI: 10.20953/1727-5784-2022-4-51-6 (in Russian).
24. Bogdanova O.G., Efimova N.V., Molchanova O.A. Analysis of health risks associated with food safety. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 12, pp. 1481–1486. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1481-1486 (in Russian).
25. Di Bella C., Traina A., Giosuè C., Carpintieri D., Lo Dico G.M., Bellante A., Del Core M., Falco F. [et al.]. Heavy Metals and PAHs in Meat, Milk, and Seafood from Augusta Area (Southern Italy): Contamination Levels, Dietary Intake, and Human Exposure Assessment. *Front. Public Health*, 2020, vol. 8, pp. 273. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00273
26. Pajević S., Arsenov D., Nikolić N., Borišev M., Orčić D., Župunski M., Mimica-Dukić N. Heavy metal accumulation in vegetable species and health risk assessment in Serbia. *Environ. Monit. Assess.*, 2018, vol. 190, no. 8, pp. 459. DOI: 10.1007/s10661-018-6743-y
27. Boev V.M., Borshchuk E.L., Kryazhev D.A., Savina E.K. Malignant tumors of the rectum, rectosigmoid connections and colon and hygienic evaluation of carcinogenic chemicals entering the oral route. *ZNiSO*, 2017, no. 6 (291), pp. 13–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-291-6-13-17 (in Russian).
28. 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

Gorbachev D.O. Cluster approach to the study of population health risks posed by contamination of food products with heavy metals. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 1, pp. 47–58. DOI: 10.21668/health.risk/2024.1.05.eng

Получена: 30.11.2023

Одобрена: 25.01.2024

Принята к публикации: 05.03.2024