

тывающего производства. В кн.: Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения: сб. науч. тр./под ред. В.Г. Макаровой. Рязань, 2002; вып. 6: 111–23).

6. Yeniskeyev AKh, Zamotayev YuN, Kremnev YuA. Arterial hypertension on the workplace. Bulletin of Pirogov National medical & surgical center 2009; (4): 112–6. Russian (Еникеев А.Х., Замотаев Ю.Н., Кремнев Ю.А. Артериальная гипертония на рабочем месте. Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова 2009; (4): 112–6).

7. Rocha R, Porto M, Morelli MY et al. Effect of environmental stress on blood pressure during the work shift. Rev Sau-de Publ 2002; 36 (5): 568–75.

8. Brook RD, Julius S. Autonomic Imbalance, Hypertension, and Cardiovascular Risk. American Journal of Hypertension 2000; 13 (S4): 112–22.

9. Occupational pathology. National leadership/Ed. by NF Izmerov. Moscow: GEOTAR-Media, 2011; 296 p. Russian (Профессиональная патология: национальное руководство/под ред. Н.Ф. Измерова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011; 296 с.).

10. Suvorov GA, Pal'tsev YuP, Prokopenko LV, et al. Physical factors and stress. Occupational Health and Industrial Ecology 2002; (8): 1–4. Russian (Суворов Г.А., Пальцев Ю.П., Прокopenko Л.В. и др. Физические факторы и стресс. Медицина труда и промышленная экология 2002; (8): 1–4).

11. Afanas'eva RF, Burmistrova OV. Cold stress and its prevention. Occupational Health and Industrial Ecology 2001; (8): 10–5. Russian (Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В. Холодовой стресс и его профилактика. Медицина труда и промышленная экология 2001; (8): 10–5).

УДК 669.018.674:613.2

Оригинальная статья

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЙ С ПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕСТНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, СОДЕРЖАЩИХ ОСТАТОЧНЫЕ КОЛИЧЕСТВА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

С.Ю. Чехомов — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, ассистент кафедры эпидемиологии; **Ю.В. Елисеева** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, доцент кафедры общей гигиены и экологии, доцент, кандидат медицинских наук; **Н.Н. Пичугина** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, доцент кафедры общей гигиены и экологии, кандидат медицинских наук; **Ю.Ю. Елисеев** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, заведующий кафедрой общей гигиены и экологии, профессор, доктор медицинских наук.

POTENTIAL RISK FOR HEALTH OF RURAL POPULATION RELATED TO CONSUMPTION OF LOCAL FOOD PRODUCTS CONTAINING RESIDUAL AMOUNTS OF HEAVY METALS

S. Yu. Chekhomov — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Assistant of Department of Epidemiology; **Yu. V. Eliseeva** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Associate Professor of Department of General Hygiene and Ecology, Associate Professor, PhD; **N. N. Pichugina** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Associate Professor of Department of General Hygiene and Ecology, PhD; **Yu. Yu. Eliseev** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Head of Department of General.

Дата поступления — 16.10.2020 г.

Дата принятия в печать — 20.11.2020 г.

Чехомов С.Ю., Елисеева Ю.В., Пичугина Н.Н., Елисеев Ю.Ю. Потенциальный риск для здоровья сельского населения, связанный с потреблением местных продуктов питания, содержащих остаточные количества тяжелых металлов. Саратовский научно-медицинский журнал 2020; 16 (4): 934–939.

Цель: гигиеническая оценка потенциального риска для здоровья сельского населения от употребления местной пищевой продукции, производимой в экологически неблагополучных районах и содержащей остаточные количества тяжелых металлов. **Материал и методы.** На основе установленных концентраций содержания тяжелых металлов (ТМ): свинца (Pb), кадмия (Cd), ртути (Hg) и мышьяка (As) в местных продуктах питания Саратовского региона проводилась оценка потенциального риска для здоровья сельского населения, связанного с их потреблением. Для расчета экспозиции, коэффициента опасности (HQ), суммарных индексов опасности (HI), индивидуального канцерогенного риска (CR) и популяционных канцерогенных рисков (PCR) использовали медиану и 90-й перцентиль содержания металлов в местных пищевых продуктах. **Результаты.** Показатели значений HQ, рассчитанные на уровне медианы содержания ТМ в пищевых продуктах районов области, свидетельствовали о допустимом уровне их воздействия. В ряде районов области при концентрации ТМ на уровне 90-го перцентиля, рассчитанные HQ и суммарные HI контаминации ТМ превышали значение 1,0, что требовало углубленной оценки экспозиции. Наибольший вклад в уровень загрязнения ТМ продукции большинства изучаемых районов вносили хлебные и молочные продукты. **Заключение.** Высокий уровень CR для здоровья населения ряда районов региона был связан с контаминацией пищевых продуктов As, рассчитанной на уровне 90-го перцентиля. Высокий PCR для населения тех же районов области, связанный с контаминацией местных продуктов питания As, был обусловлен специфическим уровнем фактора канцерогенного потенциала (SfO=1,5), что резко увеличивало вероятность развития рака при пероральном воздействии данного канцерогена.

Ключевые слова: риск здоровью, тяжелые металлы, загрязнение пищевой продукции.

Chekhomov SYu, Eliseeva YuV, Pichugina NN, Eliseev YuYu. Potential risk for health of rural population related to consumption of local food products containing residual amounts of heavy metals. Saratov Journal of Medical Scientific Research 2020; 16 (4): 934–939.

Purpose: hygienic assessment of the potential health risks of consuming local food products produced in ecologically poor areas and containing residual amounts of heavy metals. **Material and Methods.** Based on the established concentrations of heavy metals (HM): lead (Pb), cadmium (Cd), mercury (Hg) and arsenic (As) in local food products of the Saratov region, the potential risk to the health of the rural population associated with their consumption was assessed. The median and 90th percentile of HM content in local foods were used to calculate exposure, hazard coefficient (HQ), total hazard indices (HI), individual carcinogenic risk (CR), and population carcinogenic risk (PCR). **Results.** Indicators of the HQ values calculated at the level of the median HM content in food products of the regional districts

indicated the acceptable level of their impact. In some areas of the region at the concentration of HM at 90 percentile calculated HQ and total HI of contamination of the HM exceeded the value of 1.0, which required in-depth evaluation of the exposure. Bread and dairy products made the greatest contribution to the level of HM contamination in the majority of the studied areas. **Conclusion.** High level of CR for the health of the population of some districts of the Saratov region was associated with contamination of food products As calculated at the 90th percentile. The high PCR for the population of the same regions of the region, associated with contamination of local food products As, was due to a specific level of the carcinogenic potential factor (SFO=1.5), which sharply increased the likelihood of cancer development with oral exposure to this carcinogen.

Keywords: health risk, heavy metals, pollution of food products.

Введение. Из более семидесяти чужеродных химических веществ, поступающих в организм человека с продуктами питания, потенциально опасными даже в небольших количествах являются токсичные металлы [1]. В настоящее время в Российской Федерации общепринятым ориентиром безопасного потребления контаминированных пищевых продуктов является норматив — предельно допустимый уровень (ПДУ) содержания остаточных количеств химических веществ в продовольственном сырье и пище [2]. Вместе с этим в процессе проведения оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих пищевые продукты, при расчете экспозиции, создаваемой контаминантами, рекомендуется ориентироваться не только на медианную дозу, но и на ее верхнюю границу, часто превышающую допустимую [3]. При этом канцерогенный риск развития злокачественных новообразований на протяжении всей жизни, обусловленный воздействием потенциального канцерогена, определяется как верхняя доверительная граница наклона зависимости «доза — ответ» в нижней линейной части кривой [4]. Значительное количество современных публикаций, указывающих на наличие тяжелых металлов в местных продуктах питания различных территорий и стран мира, свидетельствует не только о широкой географии их распространения в результате загрязнения окружающей среды, но и о существенном риске для здоровья населения от их присутствия в пище [5–10].

Цель: гигиеническая оценка потенциального риска для здоровья сельского населения от употребления местной пищевой продукции, производимой в экологически неблагоприятных районах и содержащей остаточные количества тяжелых металлов (ТМ).

Материал и методы. С целью выявления реальной нагрузки поступления ТМ с местной пищевой продукцией использовался анкетный метод 24-часового (суточного) воспроизведения с частотным анализом выяснения того, как часто и в каком количестве потреблялись регионально выращенные аграриями продукты на протяжении 1–3 месяцев в летне-осенние периоды 2017, 2018 и 2019 гг. Всего было проанализировано 1880 анкет респондентов, собранных в девяти районах области. Риски для здоровья населения от потенциального воздействия контаминантов в пищевых продуктах оценивали согласно Методическим указаниям (МУ 2.3.7.2519–09) и Руководству по оценке риска (Р 2.1.10. 1920–04).

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения SPSS 18.0 Windows. Критический уровень статистической значимости принимался равным 0,05.

Для расчета экспозиции и HQ использовали медиану и 90-й перцентиль содержания ТМ в местных пищевых продуктах. Анализ суммарных HI для ТМ,

содержащихся в местных продуктах питания, рассчитывался по однонаправленному избирательному действию на органы и системы организма при хроническом пероральном их поступлении.

Расчет индивидуального CR проводился на основе данных величины экспозиции и фактора канцерогенного потенциала конкретного ТМ. Количественный расчет CR от воздействия Pb, Cd и As, содержащихся в местных продуктах питания, проводился с учетом установленных дозовых нагрузок на население [4]. Для характеристики индивидуального CR рака учитывалась средняя продолжительность жизни взрослого человека (70 лет) и его масса (70 кг). В связи с отсутствием в Руководстве по оценке риска фактора канцерогенного потенциала Hg, оценка CR для данного контаминанта в местных продуктах питания не проводилась. Определение величин PCR, отражающих дополнительное число раковых заболеваний (к фону новообразований), которые могут возникнуть при воздействии ТМ, определяли произведением CR на численность человек в исследуемой популяции (POP).

Результаты. Проведенный анализ анкетирования сельских жителей, проживающих в экологически неблагоприятных районах области (Балаковском, Дергачевском, Ершовском, Марксовском, Перелюбском, Романовском, Саратовском, Федоровском и Энгельском), свидетельствовал о высоком использовании в пищу местных продуктов питания. Средние цифры вклада потребления пищевых продуктов за год на одного сельского жителя по изучаемым районам составляли для молока и молочных продуктов — 36,9%, овощной продукции — 32,4% (из них 15,3% — картофель), хлеба и хлебопродуктов — 18,7%, мяса и мясopодуков — 12,0%. В количественном выражении на одного сельчанина в день приходилось: 0,21 кг мясopодуков; 0,32 кг хлебопродуктов; 0,56 кг овощной продукции (в том числе 0,26 кг картофеля) и 0,60 кг молока и молочных продуктов.

Сравнительное исследование уровней контаминации изучаемыми ТМ местной пищевой продукции всех изучаемых экологически неблагоприятных районов Саратовской области не выявил среди медианных концентраций ксенобиотиков превышения допустимых уровней.

Ранжирование вклада изучаемых групп продуктов в экспозицию контаминации ТМ показало, что наибольший средний вклад в медианный уровень загрязнения Pb для большинства изучаемых районов (Балаковского, Дергачевского, Марксовского, Перелюбского, Саратовского и Энгельского) вносили хлебные продукты 30,8% (26,7–36,4). Вместе с этим средний вклад молочных продуктов в контаминацию Pb оказался выше в трех других районах области (34,8%): Ершовском (40,7%); Романовском (33,8%) и Федоровском (30,0%). Более того, мясная продукция, выращенная и произведенная в Федоровском районе, дополнительно внесла значимый вклад в общее значение экспозиции Pb в данном районе области (30,3%).

Наибольший средний вклад (66,34%) в медианную экспозицию Cd для семи (Дергачевского, Ершовского, Марковского, Перелюбского, Романовского, Саратовского и Энгельсского) из девяти изучаемых районов области внесли молоко и молочные продукты. Для двух оставшихся, а именно Балаковского и Федоровского районов, таким продуктом оказался хлеб (вклад Cd составил 68,4%) и мясные продукты (экспозиция Cd достигала 69,5%) соответственно.

Средний вклад Hg в медианную экспозицию загрязнения продуктов питания оказался самым высоким (35,2%) в шести районах области (Балаковском, Дергачевском, Ершовском, Марковском, Перелюбском, Романовском) за счет молочной продукции. При этом в Энгельсском и Федоровском районах наибольшая контаминация Hg (49,6%) была обнаружена в хлебной продукции. В Саратовском районе по загрязнению Hg (37,8%) лидировала мясная продукция.

Ранжирование пищевых продуктов в зависимости от вклада экспозиции As в районах области выявило, что на территории пяти изучаемых экологических неблагополучных районов (Дергачевском, Ершовском, Перелюбском, Романовском и Саратовском) средний медианный вклад, связанный с контаминацией As, был самым высоким (41,4%) в молочных продуктах. В оставшихся четырех (Балаковском, Марковском, Энгельсском и Федоровском) районах средняя медиана экспозиции As была самой высокой (52,8%) в хлебных изделиях.

Расчеты коэффициентов опасности на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания ТМ в пищевых продуктах различных районов Саратовской области представлены в табл. 1.

Из показанных в таблице данных следует, что HQ, представляющие собой отношение воздействующей концентрации химического вещества к его безопасному (референтному) уровню, имели значительные различия как для самих ТМ в местных продуктах, так и с учетом мест их производства (районов области).

Полученные результаты значений HQ, рассчитанные на уровне медианы содержания контаминантов в пищевых продуктах изучаемых районов области, не превышали 1,0, что говорило о допустимом уровне воздействия ТМ, содержащихся в сельскохозяйственной продукции. Вместе с этим HQ содержания

Pb на уровне 90-го перцентиля в пищевых продуктах Балаковского, Саратовского, Марковского и Энгельсского районов превышали значение 1,0. Наши данные показали, что, несмотря на наличие допустимых уровней содержания Pb в местных продуктах питания, рассчитанные значения коэффициентов опасности требует проведения на уровне областных структур Роспотребнадзора усиления контроля за содержанием данного ТМ. Особенно это касается продуктов с наибольшим вкладом в экспозицию контаминанта в структуру питания населения данных районов — хлебной и молочной продукции.

Суммарные индексы опасности содержания изучаемых ТМ на уровне медианы в местных продуктах питания всех девяти обследованных районов области не превышали значение 1,0. Следовательно, оценка возможного риска поражения органов и систем при развитии неканцерогенных эффектов, обусловленная содержанием ТМ в местных продуктах питания, произведенных во всех изучаемых районах, свидетельствовала о приемлемом уровне по медиане.

Напротив, суммарный HI контаминации ТМ на уровне значения 90-го перцентиля в местных продуктах питания всех девяти обследованных районов области был выше 1,0, а в пяти из них — даже выше 1,5 (Балаковском — 2,2; Марковском — 2,1; Энгельсском — 1,97; Федоровском — 1,6; Саратовском — 1,51), что доказывало наличие недопустимого уровня риска, лежащего в интервале от 1,1 до 3,0. Установленный неканцерогенный суммарный риск на уровне 90-го перцентиля представляет опасность для поражения: эндокринной системы — за счет действия Pb, Hg, As и Cd; поражения центральной нервной системы — за счет действия Pb, Hg и As; поражения иммунной системы — за счет действия Hg и As; поражения репродуктивной системы — за счет действия Pb и Hg; поражения почек — за счет действия Hg и Cd.

Ранжирование индивидуальных канцерогенных рисков, связанных с контаминацией ТМ (на уровне медианы и 90-го перцентиля) местных пищевых продуктов экологически неблагополучных районов Саратовской области, проводили, ориентируясь на систему критериев приемлемого риска (табл. 2). В соответствии с этими критериями минимальные уровни риска (меньше $1,0 \times 10^{-6}$) не были установлены

Таблица 1

Ранжирование районов Саратовской области по HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания тяжелых металлов в пищевых продуктах

Районы Саратовской области	HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания ТМ в местных продуктах питания								
	Pb		Cd		Hg		As		
	Me	90‰	Me	90‰	Me	90‰	Me	90‰	
Балаковский	0,68	1,56	0,01	0,04	0,035	0,20	0,22	0,40	
Дергачевский	0,16	0,76	0,023	0,11			0,06	0,10	
Ершовский	0,20		0,029	0,099			0,052	0,11	
Марковский	0,48	1,44	0,023	0,04			0,24	0,42	
Перелюбский	0,26	0,88		0,036			0,052	0,11	
Романовский	0,14	0,68	0,021	0,029	0,041	0,09			
Саратовский	0,60	1,16	0,023	0,026	0,049	0,13	0,32	0,24	0,42
Федоровский	0,14	0,68	0,066	0,21	0,24			0,42	
Энгельсский	0,48	1,12	0,026	0,12	0,23			0,41	

Таблица 2

Ранжирование индивидуальных канцерогенных рисков (CR), связанных с контаминацией тяжелых металлов (на уровне медианы и 90-го перцентиля) местных пищевых продуктов экологически неблагополучных районов Саратовской области

Пробы, отобранные с экологически неблагополучных хозяйств районов области	Индивидуальные канцерогенные риски, связанные с контаминацией						Суммарный индивидуальный канцерогенный риск, связанный с контаминацией тяжелыми металлами на уровне	
	Pb		Cd		As			
	Me	90%	Me	90%	Me	90%	Me	90%
Балаковского	$1,3 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-6}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$9,0 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-3}$
Дергачевского	$3,3 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$7,2 \times 10^{-6}$	$2,8 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$5,5 \times 10^{-4}$
Ершовского	$3,8 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-4}$	$8,3 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-4}$	$6,5 \times 10^{-4}$
Марковского	$9,4 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-3}$
Перелюбского	$5,6 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$5,2 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-4}$
Романовского	$2,8 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$3,1 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$5,3 \times 10^{-4}$
Саратовского	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$6,4 \times 10^{-4}$
Федоровского	$3,1 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-5}$	$8,6 \times 10^{-4}$	$8,6 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-3}$
Энгельского	$9,3 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$4,1 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-3}$

Таблица 3

Ранжирование популяционных канцерогенных рисков, связанных с контаминацией тяжелых металлов (на уровне медианы и 90-го перцентиля) местных пищевых продуктов экологически неблагополучных районов Саратовской области

Пробы, отобранные с экологически неблагополучных хозяйств районов области	Популяционные канцерогенные риски, связанные с контаминацией						Суммарный индивидуальный канцерогенный риск, связанный с контаминацией тяжелыми металлами на уровне	
	Pb		Cd		As			
	Me	90%	Me	90%	Me	90%	Me	90%
Балаковского	27,7	72,4	1,1	3,6	191,7	383,4	213,0	447,3
Дергачевского	0,6	2,8	0,1	0,5	3,7	6,8	4,4	10,1
Ершовского	1,4	9,1	0,3	1,1	6,6	13,9	8,0	23,8
Марковского	5,9	16,4			63,0	113,4	69,3	132,3
Перелюбского	0,8	5,4	0,1	0,2	2,5	5,0	3,3	8,0
Романовского	0,4	2,0	0,04	0,1	2,5	5,3	2,9	7,4
Саратовского	5,5	12,6	0,2	0,55	9,1	19,1	14,6	32,2
Федоровского	0,6	2,7	0,8	16,34	16,34	34,2	30,4	53,2
Энгельского	28,7	74,2	3,1	12,7	290,5	556,2	309,0	648,9

ни в одном из изучаемых экологически неблагополучных районов при контаминации местных продуктов ТМ как на уровне медианы, так и 90-го перцентиля.

Диапазон, соответствующий допустимому CR, находящийся в интервале более $1,0 \times 10^{-6}$, но менее $1,0 \times 10^{-4}$ и являющийся верхней границей приемлемого риска, был характерен для Pb и Cd, находящихся в местных продуктах питания в экспозициях на уровне медианы и 90-го перцентиля. Исключение составили CR ($1,0 \times 10^{-3}$), связанные с контаминацией местных пищевых продуктов As на уровне 90-го перцентиля в Балаковском, Федоровском, Энгельском и Марковском районах. Более того, аналогичный результат CR на уровне $1,0 \times 10^{-3}$ был характерен для экспозиции As на медианном уровне в продуктах питания Марковского района. Таким образом, контаминация As местных продуктов питания Балаковского, Федоровского, Энгельского и Марковского районов на уровне более $1,0 \times 10^{-3}$ подтверждала наличие неприемлемого для населения данных

районов индивидуального CR. Суммарный индивидуальный канцерогенный риск, связанный с совокупной контаминацией ТМ пищевых продуктов, также в основном формировался за счет As и был неприемлемым для населения четырех перечисленных районов, но уже как на уровне 90-го перцентиля, так и на уровне медианы (табл. 2).

Ранжирование величин популяционных канцерогенных рисков, связанных с контаминацией ТМ (на уровне медианы и 90-го перцентиля) местных пищевых продуктов, нашло отражение в табл. 3 представленных исследований. Учитывая стохастический характер канцерогенных рисков, точно предсказать сроки развития злокачественных новообразований невозможно, однако показать долгосрочную тенденцию к изменению онкологического фона с учетом анализа принятых для исследования данных возможно. Так, из представленных в табл. 3 данных следует, что наиболее высокие показатели величины PCR установлены при употреблении продуктов,

производимых в Энгельском, Балаковском и Марксовском районах области, соответственно — 648,9; 447,3 и 132,3 дополнительных случаев к фоновому уровню онкологических заболеваний. Популяционный канцерогенный риск в экологически неблагополучных районах области среднем на 85,7% обусловлен контаминацией местных продуктов питания As, Pb — на 13,2%, Cd — на 1,1%.

Обсуждение. Гигиенические подходы к углубленному изучению экспозиции при оценке риска для здоровья сельского населения от воздействия ТМ, содержащихся в местных пищевых продуктах, в условиях, когда медианные концентрации не превышают предельно допустимых уровней, были основаны на ряде принципов. Так, согласно методическим рекомендациям, утвержденным санитарной службой Российской Федерации [3], приоритетными для изучения на наличие ТМ в основных рационах питания местного населения в диапазоне от 0,1–1,0 ПДУ, являются районы, где имеется загрязнение контаминантами окружающей среды, особенно почвы и водоемов [11–13].

В представленной работе расчеты возможного неканцерогенного и канцерогенного рисков ТМ были основаны на использовании экспозиции не только по медианному содержанию металлов в местных продуктах питания, но и с учетом 90-го перцентиля, что предопределило выбор для исследования экологически неблагополучных районов области с высокой и постоянной степенью их загрязнения экотоксикантами.

На изучаемых экологически неблагополучных территориях Саратовского региона наибольший вклад в экспозицию ТМ вносили хлебные продукты, что согласуется с результатами ранжирования групп продуктов, проведенного при оценке риска для здоровья населения Архангельской, Воронежской областей и г. Находки. Однако в отличие от центральных районов Российской Федерации (Саратовской и Воронежской областей), где по контаминации металлами следующей была группа молочных продуктов, в северо-восточных районах страны это место занимали рыба, рыбопродукты, а также овощи и бахчевые [14–16].

Полученные в исследовании результаты значений HQ, характерные для районов Саратовской области, имели значительные различия, связанные как с экспозицией ТМ в местных продуктах питания, так и зависящие от мест их производства. Аналогичные данные были получены в оценке HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания ТМ в местных продуктах питания Воронежской и Томской областей. При этом анализ неканцерогенного риска для населения данных областей показал, что на уровне медианных концентраций ТМ коэффициенты опасности не превышали допустимых значений, в отличие от уровня 90-го перцентиля: HQ превышали верхнюю границу референтного уровня. Так, если в Саратовской области (Балаковском, Энгельском, Марксовском и Саратовском районах) повышенные в 1,2–1,6 раза значения HQ были характерны только по содержанию Pb, то в Воронежской области выявлены повышенные значения HQ для Pb (HQ=1,6), Cd (HQ=1,1) и As (HQ=1,3) [15]. На территории Архангельской области значения HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля по содержанию As в пищевых продуктах превышали приемлемый риск в 4 и 14 раз соответственно, а по содержанию Hg и Cd на уровне 90-го перцентиля превышали верхнюю границу референтного уровня в 1,2–2,5 раза [14].

Установленный в исследовании в ряде районов Саратовской области (Балаковском, Энгельском, Марксовском и Федоровском районах) высокий уровень индивидуального CR, связанный с контаминацией пищевых продуктов As и рассчитанный на уровне 90-го перцентиля, был также характерен для населения Архангельской, Воронежской областей и г. Находки, где аналогично основной вклад в развитие канцерогенных эффектов посредством продуктов питания обусловлен As [14–16].

Выводы:

1. Ранжирование вклада изучаемых групп продуктов в экспозицию контаминации ТМ показало, что наибольший средний вклад в медианный уровень загрязнения металлами в большинстве изучаемых районов Саратовской области вносили хлебные и молочные продукты.

2. Показатели значений HQ, рассчитанные на уровне медианы содержания ТМ в пищевых продуктах всех девяти изучаемых сельскохозяйственных районов области, указывали на допустимый уровень их воздействия. Высокое содержание Pb на уровне 90-го перцентиля в сельскохозяйственной продукции Балаковского, Саратовского, Марксовского и Энгельского районов определяло наличие продуктов питания с HQ, превышающими значение 1,0, что требовало углубленной оценки экспозиции.

3. Установленные суммарные показатели HI выше значений 1,0, обусловленные контаминацией ТМ на уровне 90-го перцентиля местных продуктах питания всех районов области, свидетельствовали об опасности при их употреблении поражения следующих систем организма человека: эндокринной — за счет действия Pb, Hg, As и Cd; центральной нервной — за счет действия Pb, Hg и As; иммунной — за счет действия Hg и As; репродуктивной — за счет действия Pb и Hg, а также почек — за счет действия Hg и Cd.

4. Контаминация местных продуктов As в экспозиции на уровне 90-го перцентиля в Балаковском, Федоровском, Энгельском и Марксовском районах подтверждала наличие неприемлемого для населения данных районов индивидуального CR (более $1,0 \times 10^{-3}$).

5. Наименее высокие величины показателей PCR установлены за счет употребления продуктов питания, производимых в Энгельском, Балаковском и Марксовском районах области и, соответственно, вызывающих 648,9, 447,3 и 132,3 дополнительных случая к фоновому уровню онкологических заболеваний.

6. Популяционный канцерогенный риск в экологически неблагополучных районах области в среднем на 85,7% обусловлен контаминацией местных продуктов питания As, Pb — на 13,2%, Cd — на 1,1%.

Конфликт интересов отсутствует.

References (Литература)

1. Lyzhina AV, Buzinov RV, Unguryanu TN, et al. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Human ecology* 2012; 12: 3–9. Russian (Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгуряну Т. Н. и др. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области. *Экология человека* 2012; 12: 3–9).
2. SanPiN 2.3.2.1078–01 "Hygienic requirements for safety and nutritional value of food" with amendments and additions 2002–2011. Russian (СанПиН 2.3.2.1078–01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» с изменениями и дополнениями 2002–2011 гг.).

3. Determination of exposure and risk assessment of the effects of chemical food contaminants on the population. Methodical instructions. Moscow, 2010; 27 p. Russian. (Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических загрязнителей пищевых продуктов на население. Методические указания. М., 2010; 27 с.)
4. Manual for population health risk assessment under impact of chemical substances polluting environment. Moscow, 2004; 143 p. Russian (Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязнителей окружающей среды. М., 2004; 143 с.)
5. Sobukola OP, Adeniran OM, Odedairo AA, et al. Heavy metal levels of some fruits and leafy vegetables from selected markets in Lagos, Nigeria. *African Journal of Food Science* 2010; 4: 389–92.
6. Vereshchagin AI, Istomin AV, Eliseev YuYu, et al. Clusters of regional peculiarities of population nutrition. *Population health and habitat* 2013; 3 (240): 11–3. Russian. (Верещагин А.И., Истомин А.В., Елисеев Ю.Ю. и др. Кластеры региональных особенностей питания населения. *Здоровье населения и среда обитания* 2013; 3 (240): 11–3).
7. Tulina LM, Vyaltina NE, Makarova TM, et al. Hygienic assessment of the content of chemical contaminants in food and assessment of the risk of food exposure to the health of the population of the Orenburg region. *Health risk analysis* 2014; 1: 49–56. Russian (Тулина Л.М., Вяльцина Н.Е., Макарова Т.М. и др. Гигиеническая оценка содержания химических загрязнителей в продуктах питания и оценка риска воздействия пищевых продуктов на здоровье населения Оренбургской области. *Анализ риска здоровью* 2014; 1: 49–56).
8. Istomin AV, Eliseev YuYu, Eliseeva YuV. Conditionality of risks to children's health by chemical contamination of food products in the region. *Public health and habita* 2014; 2: 18–21. Russian (Истомин А.В., Елисеев Ю.Ю., Елисеева Ю.В. Обусловленность рисков здоровью детского населения химической загрязнением пищевых продуктов в регионе. *Здоровье населения и среда обитания* 2014; 2: 18–21).
9. Song D, Zhuang D, Jiang D, et al. Integrated Health Risk Assessment of Heavy Metals in Suxian County, South China. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12 (7): 7100–17. DOI: 10.3390/ijerph120707100.
10. Kingsley CP, Uchenna NH. Potential Health Risk from Heavy Metals via Consumption of Leafy Vegetables in the Vicinity of Warri Refining and Petrochemical Company, Delta State, Nigeria. *Annals of Biological Sciences* 2018; 6 (2): 30–7. DOI: 10.21767/2348–1927.1000119.
11. Musaev ShZh, Eliseev YuYu, Lutsevich IN. The problem of public health risk of the processes of concentration of chemical pollution in small rivers of the Saratov region. *Hygiene and sanitation* 2012; 5: 101–3. Russian (Муцаев Ш.Ж., Елисеев Ю.Ю., Луцевич И.Н. Проблема риска для здоровья населения процессов концентрирования химических загрязнителей в малых реках Саратовской области. *Гигиена и санитария* 2012; 5: 101–3).
12. Musaev ShZh, Eliseev YuYu, Lutsevich IN. Mechanisms of behavior of chemical compounds in surface, volume layers and bottom sediments of reservoirs under their anthropogenic pollution. *Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences* 2011; 13 (1-8): 1014–16. Russian (Муцаев Ш.Ж., Елисеев Ю.Ю., Луцевич И.Н. Механизмы поведения химических соединений в поверхностном, объемном слоях и донных отложениях водоемов при их антропогенном загрязнении. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* 2011; 13 (1-8): 1014–16).
13. Mosiyash SA, Orlov AA, Nakaryakova MV, et al. Hygienic aspects of using small streams of the Lower Volga region for rural water supply. *Public health and habita* 2011; 11 (224): 27–9. Russian (Мосияш С.А., Орлов А.А., Накарякова М.В. и др. Гигиенические аспекты использования малых водотоков Нижнего Поволжья для сельского водоснабжения. *Здоровье населения и среда обитания* 2011; 11 (224): 27–9).
14. Lyzhina AV, Ungureanu TN, Rodionov AV. Risk to public health when exposed to heavy metals that pollute food raw materials and food products *Public health and habita*. 2018; 7 (304): 4–7. Russian (Лыжина А.В., Унгуряну Т.Н., Родиманов А.В. Риск здоровью населения при воздействии тяжелых металлов, загрязняющих продовольственное сырье и пищевые продукты. *Здоровье населения и среда обитания* 2018; 7 (304): 4–7).
15. Stepkin Yul, Mamchik NP, Platunin AV, et al. Assessment of the risk to the health of the population of the Voronezh region when exposed to food contaminants. In: *Hygienic and medico-prophylactic technologies for managing risks to public health: materials of the 2nd all-Russian scientific and practical conference with internat. participation*. Perm, 2011; 288–90. Russian (Степкин Ю.И., Мамчик Н.П., Платунин А.В., Колнет И.В. Оценка риска здоровью населения Воронежской области при воздействии загрязнителей пищевых продуктов. В сб.: *Гигиенические и медико-профилактические технологии управления рисками здоровью населения: материалы 2-й Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Пермь. 2011; 288–90).
16. Kisliitsyna LV, Ivanova IL, Kiku PF. Risk assessment of the probable impact of heavy metals in food products on the health of the population of Primorsky Krai. *Health. Medical ecology. The science* 2015; 4 (62): 78–83. Russian (Кислицына Л.В., Иванова И.Л., Кики П.Ф. Оценка риска вероятного воздействия тяжелых металлов в пищевых продуктах на состояние здоровья населения Приморского края. *Здоровье. Медицинская экология. Наука* 2015; 4 (62): 78–83).