

Елисеев Ю.Ю.^{1,2}, Спиринов В.Ф.², Чехомов С.Ю.¹, Елисеева Ю.В.¹

Потенциальный риск для здоровья сельского населения, связанный с потреблением местных продуктов питания, содержащих остаточные количества пестицидов

¹ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского Министерства здравоохранения Российской Федерации, 410012, Саратов, Россия;

²Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 410042, Саратов, Россия

Цель — гигиеническая оценка потенциального риска для здоровья сельского населения, связанного с употреблением местной пищевой продукции, производимой в районах, содержащих остаточные количества пестицидов в почве.

Материалы и методы. Количественное определение содержания хлор- и фосфорорганических пестицидов в местных пищевых продуктах анализировалось методом тонкослойной и газожидкостной хроматографии. Риски для здоровья сельского населения от воздействия пестицидов в пищевых продуктах оценивали согласно Руководству по оценке риска (P 2.1.10.1920-04). Для расчёта экспозиции и коэффициента опасности (HQ), суммарных индексов опасности (HI), индивидуального (CR) и популяционного (PCR) канцерогенных рисков использовали медиану и 90-й перцентиль содержания пестицидов в местных пищевых продуктах.

Результаты. Установлено, что наибольший вклад в медианный уровень загрязнения хлорорганическими ядохимикатами в большинстве изучаемых районов вносили молочные и овощные продукты, фосфорорганическими соединениями — картофель и овощные продукты. Показатели значений HQ, рассчитанные на уровне медианы содержания пестицидов в пищевых продуктах во всех изучаемых сельскохозяйственных районах области, свидетельствовали о допустимом уровне их воздействия. Также допустимыми, но выше 1, оказались суммарные HI за счёт контаминации пестицидами на уровне значения 90-го перцентиля в местных продуктах питания четырёх районов Саратовской области. Суммарный неканцерогенный риск на уровне 90-го перцентиля оценивали для пестицидов, оказывающих однонаправленное действие в отношении поражения: эндокринной системы — за счёт действия дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ), гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и малатиона; печени, почек и репродуктивной системы — за счёт действия ДДТ, ГХЦГ, хлорпирифоса и глифосата.

Заключение. Таким образом, установленный в исследовании высокий уровень CR для здоровья населения всех обследованных экологически неблагоприятных районов Саратовской области был связан с рассчитанной на уровне медианы и 90-го перцентиля контаминацией пищевых продуктов ГХЦГ. PCR в среднем на 84,2% был обусловлен контаминацией пищевых продуктов питания ГХЦГ и на 15,8% — ДДТ.

Ключевые слова: гигиеническая оценка риска здоровью; пестициды; загрязнение сельскохозяйственной пищевой продукции

Для цитирования: Елисеев Ю.Ю., Спиринов В.Ф., Чехомов С.Ю., Елисеева Ю.В. Потенциальный риск для здоровья сельского населения, связанный с потреблением местных продуктов питания, содержащих остаточные количества пестицидов. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (5): 482-488. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-482-488>

Для корреспонденции: Елисеев Юрий Юрьевич, доктор мед. наук, профессор, зав. кафедрой общей гигиены и экологии Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского МЗ РФ, 410012, Саратов. E-mail: yeliseev55@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Елисеев Ю.Ю. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Спиринов В.Ф. — концепция и дизайн исследования, статистический анализ, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи; Чехомов С.Ю. — сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста; Елисеева Ю.В. — сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста.

Поступила 27.04.2021 / Принята к печати 18.05.2021 / Опубликовано 15.06.2021

Yuri Yu. Eliseev^{1,2}, Vladimir F. Spirin², Sergei Yu. Chechomov¹, Julia V. Eliseeva¹

Potential health risk associated with consumption of local food containing pesticide residues for the rural population

¹V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, 410012, Russian Federation;

²Saratov Medical Scientific Center for Hygiene and Research Center of Medical and Preventive Technologies for Managing Public Health Risks, Saratov, 410042, Russian Federation

Objective. Hygienic assessment of the potential health risks to the rural population associated with the use of local food products produced in areas containing residual amounts of pesticides in the soil.

Material and methods. The quantification of chloro- and organophosphorus pesticides in local foods was analyzed by thin-layer and gas-liquid chromatography. Health risks to the rural population from exposure to pesticides in foods were assessed according to the Risk Assessment Guidelines (P 2.1.10.1920-04). To calculate exposure and hazard ratio (HQ), summary hazard indices (HIs), individual (CR), and population (PCR) carcinogenic hazards, the median and 90th percentile of pesticide content in topical foods were used.

Results. Dairy and vegetable products were found to contribute mainly to the median level of pollution with organochlorine toxic chemicals for most studied areas. Potatoes and vegetable products contributed to pollution with organophosphorus compounds. The HQ values calculated at the median level of pesticide content in food products in all agricultural areas under study in the region indicated an acceptable level of exposure. It is also good, but above 1.0, were the total HI due to pesticide contamination at the level of the 90th percentile value in local food products of four districts of the Saratov region. The total non-carcinogenic risk at the level of the 90th percentile was assessed for pesticides that have a unidirectional effect on the damage to the endocrine system - due to the action of DDT, HCHCG, and malathion; damage to the liver, kidneys, and the reproductive system - due to the action of DDT, HCHCG, chlorpyrifos and glyphosate.

Conclusion. Thus, the study established a high level of the CR value for the health of all surveyed environmentally disadvantaged areas of the Saratov region associated with contamination of HCHCG food products calculated at the median and 90th percentile level. An average of 84.2% of PCR was due to contamination of local HCHCG foodstuffs and 15.8 % to DDT.

Keywords: hygienic health risk assessment; pesticides; pollution of agricultural food products

For citation: Eliseev Yu.Yu., Spirin V.F., Chechomov S.Yu., Eliseeva Yu.V. Potential health risks for rural populations associated with consumption of local food containing pesticide residues. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)* 2021; 100 (5): 482–488. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-482-488> (In Russ.)

For correspondence: Yuri Yu. Eliseev, MD, Ph.D., DSci., Professor, Head of the Department of General Hygiene and Ecology, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University. Saratov, 410012, Russian Federation. E-mail: yeliseev55@mail.ru

Information about authors:

Eliseev Yu.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6507-476X>; Spirin V.F., <https://orcid.org/0000-0002-2987-0099>
Chechomov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-7163-8373>; Eliseeva Yu.V., <https://orcid.org/0000-0003-4496-9107>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution of the authors: *Eliseev Yu. Yu.* – the concept and design of the study, the collection and processing of the material, statistical analysis, writing a text, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; *Spirin V.F.* – the concept and design of the study, statistical analysis, writing a text, approval of the final version of the article; *Chechomov S.Yu.* – the collection and processing of the material, statistical analysis, writing a text; *Eliseeva Yu. V.* – the collection and processing of the material, statistical analysis, writing a text.

Received: April 27, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: June 15, 2021

Введение

Из большого количества чужеродных химических веществ, поступающих в организм человека с пищевыми продуктами, потенциально опасными даже в небольших количествах с точки зрения влияния на здоровье всегда оставались пестициды [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 пище¹. Вместе с этим, проводя оценку риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих пищевые продукты, при расчёте экспозиции, создаваемой контаминантами, рекомендуется ориентироваться не только на медианную дозу, но и на её верхнюю границу, часто превышающую допустимую². 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 кривой³. Значительное количество современных публикаций, указывающее на наличие пестицидов в местных продуктах питания, произведённых на различных территориях, свидетельствует не только о широкой географии их распространения, сопровождающегося загрязнением окружающей среды, но и о существенном риске для здоровья населения, связанным с их присутствием в пище [2–5].

Цель – гигиеническая оценка потенциального риска для здоровья сельского населения, связанного с употреблением местной пищевой продукции, производимой в районах, содержащих остаточные количества пестицидов.

Материалы и методы

Для оценки содержания химических загрязнителей в пищевых продуктах были использованы ретроспективные данные, предоставленные Центром гигиены и эпидемиологии по Саратовской области. Проводились собственные исследования по оценке содержания остаточных количеств пестицидов (ДДТ, ГХЦГ (γ -изомер гексахлорциклопексана), хлорпирифоса, малатиона, глифосата) в местных пищевых продуктах ряда районов региона, выполненные в аккредитованной лаборатории филиала ООО ЦЭП «Экомир». Ото-

¹ СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» с изменениями и дополнениями 2002–2011 гг.

² Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население. Методические указания. М., 2010.

³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязнителей окружающей среды. М., 2004.

бранные пробы местных продуктов питания (массой от 300 до 500 г), включающие хлеб, мясо, коровье молоко, овощи, упаковывались в полиэтиленовые мешки, молоко – в стерильную стеклянную посуду и в охлаждённом виде в термоконтейнерах не позднее 36 ч доставлялись в лабораторию.

С целью выявления нагрузки поступления пестицидов с местной пищевой продукцией использовался анкетный метод 24-часового (суточного) воспроизведения с частотным анализом потребления регионально выращенных аграриями продуктов на протяжении 1–3 мес в летне-осенние периоды 2017, 2018 и 2019 гг. Всего было проанализировано 1880 анкет респондентов из 9 районов области. Содержание пестицидов в пищевых продуктах определяли методом тонкослойной хроматографии на аналитических пластинах ПТСХ-АФ-А (Sorbfil), изготовленных из алюминиевой фольги с нанесённым и закреплённым рабочим слоем микрофракционированного сорбента силикагеля толщиной 90–120 мкм (± 5 мкм). Остаточные количества пестицидов ДДТ, ГХЦГ в молоке и хлорпирифоса в овощах в концентрациях менее 0,05 мг/кг дополнительно исследовали методом газожидкостной хроматографии на газовом хроматографе «Хроматэк Кристалл» с электрозахватным детектором в диапазоне измерений 0,005–0,5 мг/кг. 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). Для расчёта экспозиции и НQ использовали медиану и 90-й перцентиль содержания пестицидов в местных пищевых продуктах. Анализ суммарных НI для пестицидов, содержащихся в местных продуктах, рассчитывался по однонаправленному избирательному действию на органы и системы организма при хроническом пероральном их поступлении.

Расчёт индивидуального CR проводился на основе данных величины экспозиции и фактора канцерогенного потенциала конкретного пестицида. В связи с отсутствием в Руководстве по оценке риска фактора канцерогенного потенциала хлорпирифоса и малатиона оценка CR для данных пестицидов в местных продуктах питания не проводилась. Определение величин популяционных PCR, отражающих дополнительное число раковых заболеваний (к фону новообразований), которые могут возникнуть при воздействии пестицидов, определяли произведением CR на численность населения в исследуемой популяции (POP).

Результаты

Выбор районов Саратовской области для изучения содержания пестицидов в местных пищевых продуктах был основан на ретроспективном анализе данных регионального управления Роспотребнадзора, мониторинга оценки качества факторов окружающей среды 38 районов региона,

проводимого сотрудниками Саратовского государственного медицинского университета и Саратовского научно-исследовательского института сельской гигиены. В результате были выделены 9 административных территорий области (Балаковский, Дергачёвский, Ершовский, Марковский, Перелюбский, Романовский, Саратовский, Фёдоровский, Энгельский) — наиболее неблагополучные по санитарно-химическим показателям загрязнения проб атмосферного воздуха, почвы и воды водоёмов. Так, в почве и воде источников данных районов на протяжении 2011–2017 гг. стабильно отмечалось превышение ПДК содержания пестицидов от 1,2 до 5,2 раза [6–9]. Вместе с этим регулярно проводимый Роспотребнадзором и областной ветеринарной службой контроль за содержанием химических загрязнителей в отдельных видах местных продуктов, выращенных на экологически неблагополучных территориях фермерскими хозяйствами и реализуемых в розничной сети, не выявляет превышения допустимых концентраций исследуемых контаминантов. Более того, местное население, владеющее личными подсобными хозяйствами, использует в пищу собственную выращенную продукцию, остающуюся, как правило, вне контроля (тем более систематического мониторинга) содержания поллютантов со стороны федеральных и региональных органов.

Проведённый анализ анкетирования сельских жителей, проживающих в экологически неблагополучных районах области, за 2017–2019 гг. свидетельствовал о высоком долевом вкладе использования 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 мясопродуктов — 12%. В количественном выражении на одного сельчанина в день приходилось: 0,21 кг мясопродуктов; 0,32 кг хлебопродуктов; 0,56 кг овощной продукции (в том числе 0,26 кг — картофеля) и 0,6 кг молока и молочных продуктов.

Сравнительное исследование уровней контаминации пестицидами местной пищевой продукции всех изучаемых экологически неблагополучных районов Саратовской области не выявило среди медианных концентраций ксенобиотиков превышения допустимых уровней.

Ранжирование вклада изучаемых групп продуктов в экспозицию контаминации пестицидами показало, что наибольший средний вклад в медианный уровень загрязнения хлорорганическими ядохимикатами для большинства изучаемых районов (Балаковского, Дергачёвского, Ершовского, Фёдоровского, Перелюбского, Романовского и Саратовского) вносили молочные продукты — 45,4% (38–52,1%). Вместе с этим средний вклад овощных продуктов и картофеля в контаминацию хлорорганическими ядохимикатами оказался выше в двух других районах области: Марковском — 34,1 и 30,6%, Энгельском — 40,2 и 36,1% соответственно.

Наибольший средний вклад в медианную экспозицию фосфорорганическими ядохимикатами на основе малактиона для личных подсобных хозяйств 9 изучаемых районов внесли овощи и картофель (соответственно 52,6 и 47,4%). Другой фосфорорганический инсектицид — хлорпирифос — выявлялся в хлебной и овощной продукции 4 районов области (Дергачёвском, Ершовском, Перелюбском и Фёдоровском) в медианных (0,0059 и 0,0081 мг/кг) и на уровне 90-го перцентиля в концентрациях (0,0088 и 0,0099 мг/кг) на уровнях значительно меньших, чем допустимые величины (0,5 и 0,01 мг/кг соответственно). Вместе с этим средние концентрации хлорпирифоса, определяемые в овощах и картофеле, выращенных на фермерских полях ($0,0039 \pm 0,0006$ мг/кг), были достоверно выше ($p < 0,01$), чем на участках частных подсобных хозяйств ($0,0018 \pm 0,0004$ мг/кг).

Средний вклад гербицида глифосата в медианную экспозицию загрязнения продуктов питания выявлялся в ово-

шах на 48,1%, картофеле — 43,2% и хлебной продукции — 8,8%, но только в полученной от фермерских хозяйств обследуемых районов области. В продукции личных подсобных хозяйств изучаемых экологически неблагополучных районов области остаточных количеств гербицида глифосата не выявлено.

Расчёты коэффициентов опасности на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания пестицидов в пищевых продуктах различных районов и хозяйств Саратовской области представлены в табл. 1 и 2.

Из данных, представленных в таблицах, следует, что НQ, представляющие собой отношение воздействующей концентрации химического вещества к его безопасному (референтному) уровню, имели значительные различия как для самих пестицидов в местных пищевых продуктах, так и с учётом мест их производства (районов и хозяйств области).

Показатели НQ хлорорганических пестицидов (ДДТ и ГХЦГ) на уровне медианы и 90-го перцентиля были идентичны для продуктов питания как в условиях выращивания фермерскими, так и личными подсобными хозяйствами. Напротив, показатели НQ, связанные с наличием хлорпирифоса в местных продуктах, выращенных фермерскими хозяйствами, были достоверно выше, чем воспроизводимые личными подсобными хозяйствами. Более того, показатели НQ фосфорорганического пестицида на основе малактиона, как на уровне медианы, так и 90-го перцентиля, отмечались в незначительных количествах и только в продуктах, выращенных на личных подсобных хозяйствах (см. табл. 1), а показатели НQ глифосата аналогично регистрировались только в условиях производства фермерскими хозяйствами (см. табл. 2).

Полученные результаты значений НQ, рассчитанные на уровне медианы содержания остаточных количеств пестицидов, не превышали 1, что свидетельствовало о допустимом уровне воздействия ядохимикатов, содержащихся в сельскохозияственной продукции. Вместе с этим НQ содержания хлорпирифоса на уровне 90-го перцентиля в пищевых продуктах Фёдоровского района превышали значение 1. Полученные результаты показали, что, несмотря на наличие допустимых уровней содержания хлорпирифоса в местных продуктах питания, рассчитанное значение коэффициента опасности требует проведения на уровне территориальных структур Роспотребнадзора усиленного контроля за содержанием данного пестицида. Последнее особенно касается продуктов с наибольшим вкладом в экспозицию хлорпирифоса в структуре питания населения Фёдоровского района — хлебной, овощной продукции, а также картофеля.

В качестве критериев оценки неканцерогенного риска для здоровья населения от исследуемых пестицидов, поступающих с продуктами питания, использовались официально рекомендованные данные о референтных (безопасных) концентрациях (RfD) при хроническом воздействии на критические системы и органы организма (табл. 3).

На основании представленных в табл. 3 данных рассчитывался суммарный НI для веществ с однонаправленным механизмом действия. В результате было установлено, что суммарные НI содержания изучаемых пестицидов на уровне медианы в продуктах местного производства из 9 районов области не превышали значение 1, что свидетельствовало о риске приемлемого уровня.

Суммарные НI контаминации пестицидами на уровне значения 90-го перцентиля в продуктах из 4 фермерских (Дергачёвского, Ершовского, Перелюбского и Фёдоровского) и 3 личных подсобных хозяйств (Ершовского, Марковского, Фёдоровского) были в пределах значений от 1,14 до 1,62, что свидетельствовало о наличии допустимого уровня риска, лежащего в интервале от 1,1 до 3. При этом установленные значения допустимого суммарного неканцерогенного риска на уровне 90-го перцентиля анализировали с учётом возможности однонаправленного механизма дей-

Таблица 1 / Table 1

Ранжирование районов Саратовской области по HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания пестицидов в местных пищевых продуктах, выращенных личными подсобными хозяйствами**Ranking of the districts of the Saratov region by HQ at the level of the median and 90th percentile of pesticide content in local food products grown on personal subsidiary plots**

Районы Саратовской области Areas of the Saratov region		HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания пестицидов HQ at the level of the median and 90 th percentile of pesticide content							
		ДДТ 4,4'-DDT		ГХЦГ Hexachlorocyclohexane		Хлорпирифос Chlorpyrifos		Малатион Malathion	
		Me	90%	Me	90%	Me	90%	Me	90%
Балаковский	Balakovsky	0.14	0.26	0.01	0.30	Нет / Not	Нет / Not	0.10	0.18
Дергачёвский	Dergachevsky	0.14	0.24	0.01	0.30	0.14	0.17	0.17	0.20
Ершовский	Ershovsky	0.18	0.40	0.1	0.50	0.13	0.15	0.18	0.20
Марковский	Marksovsky	0.14	0.40	0.04	0.46	Нет / Not	Нет / Not	0.10	0.17
Перелюбский	Perelyubsky	0.18	0.28	0.10	0.21	0.14	0.28	0.18	0.20
Романовский	Romanovsky	0.18	0.28	0.10	0.21	Нет / Not	Нет / Not	0.10	0.17
Саратовский	Saratovsky	0.18	0.32	0.10	0.21	Нет / Not	Нет / Not	0.05	0.15
Фёдоровский	Fedorovsky	0.18	0.34	0.10	0.27	0.15	0.35	0.18	0.20
Энгельский	Engelssky	0.12	0.28	0.05	0.15	Нет / Not	Нет / Not	0.06	0.17

Таблица 2 / Table 2

Ранжирование районов Саратовской области по HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания пестицидов в местных пищевых продуктах, выращенных фермерскими хозяйствами**Ranking of districts of the Saratov region by HQ at the level of the median and 90th percentile of pesticide content in local food products grown by farms**

Районы Саратовской области Areas of the Saratov region		HQ на уровне медианы и 90-го перцентиля содержания пестицидов HQ at the level of the median and 90 th percentile of pesticide content							
		ДДТ 4,4'-DDT		ГХЦГ Hexachlorocyclohexane		Хлорпирифос Chlorpyrifos		Глифосат Glyphosate	
		Me	90%	Me	90%	Me	90%	Me	90%
Балаковский	Balakovsky	0.14	0.26	0.01	0.30	Нет / Not	Нет / Not	0.01	0.02
Дергачёвский	Dergachevsky	0.14	0.24	0.01	0.30	0.32*	0.57*	0.02	0.03
Ершовский	Ershovsky	0.18	0.40	0.1	0.50	0.33*	0.69*	0.02	0.03
Марковский	Marksovsky	0.14	0.40	0.04	0.46	Нет / Not	Нет / Not	0.01	0.02
Перелюбский	Perelyubsky	0.18	0.28	0.10	0.21	0.33*	0.69*	0.02	0.03
Романовский	Romanovsky	0.18	0.28	0.10	0.21	Нет / Not	Нет / Not	0.01	0.02
Саратовский	Saratovsky	0.18	0.32	0.10	0.21	Нет / Not	Нет / Not	0.01	0.02
Фёдоровский	Fedorovsky	0.18	0.34	0.10	0.27	0.40*	0.31**	0.02	0.03
Энгельский	Engelssky	0.12	0.28	0.05	0.15	Нет / Not	Нет / Not	0.01	0.02

Примечание. * – Наличие достоверной разницы величины HQ, связанной с содержанием хлорпирифоса в местных пищевых продуктах фермерских и личных подсобных хозяйств; ** – HQ, свидетельствующий о превышении допустимого уровня содержания хлорпирифоса в местных пищевых продуктах.

Note. * – the presence of a significant difference in the HQ value associated with the content of chlorpyrifos in local food products of farms and private subsidiary plots; ** – HQ, indicating that the permissible level of chlorpyrifos in local food products has been exceeded.

ствия в отношении поражения: эндокринной системы – за счёт действия ДДТ, ГХЦГ и малатиона; поражения печени, почек и репродуктивной системы – за счёт действия ДДТ, ГХЦГ, хлорпирифоса и глифосата.

Диапазон, соответствующий допустимому CR, находящийся в интервале более $1 \cdot 10^{-6}$, но менее $1 \cdot 10^{-4}$ и являющийся верхней границей приемлемого риска, был характерен для медианных концентраций ДДТ. Контаминация местных пищевых продуктов ГХЦГ в экспозициях на уровне медианы и 90-го перцентиля, а также ДДТ на уровне 90% во

всех обследуемых районах создавала неприемлемый для населения CR и требовала проведения постоянного мониторинга экспозиции пестицидов. При оценке контаминации продуктов фермерских хозяйств из всех экологически неблагополучных районов области глифосатом в соответствии с вышеперечисленными критериями были установлены минимальные уровни риска (меньше $1 \cdot 10^{-6}$).

Суммарный CR, связанный с совокупной контаминацией пищевых продуктов пестицидами, в основном формировался за счёт ГХЦГ и был неприемлемым для населения всех

Таблица 3 / Table 3

Показатели неканцерогенной опасности исследуемых пестицидов, поступающих пероральным путём
Indices of non-carcinogenic hazard of the studied pesticides entered by the oral route

CAS*	Вещество Substance	Неканцерогенное действие Non-carcinogenic effect		Источник данных Data sources
		RfD	критические системы и органы / critical systems and organs	
50-29-3	ДДТ 4,4'-DDT	0.0005	Гормональная система, печень Hormonal system, liver.	P.2.1.10.1920-04 [4]
58-89-9	ГХЦГ γ -изомер γ -isomer Hexachlorocyclohexane	0.0003	ЦНС, гормональная, репродуктивная системы, система развития, системное поражение, печень, почки CNS, hormonal system, reproductive system, development system., liver, kidneys	P.2.1.10.1920-04 [4]
2921-88-2	Хлорпирифос Chlorpyrifos	0.003	Биохимическая система (ХЭ крови и эритроцитов), печень Biochem (blood and erythrocytes' cholinesterase (ChE), liver	P.2.1.10.1920-04 [4]
1071-83-6	Глифосат Glyphosate	0.1	Система развития, почки Development system, kidneys	P.2.1.10.1920-04 [4]
121-75-5	Малатион Malathion	0.02	ЦНС гормональная, биохимическая (ХЭ эритроцитов) системы, системное поражение CNS, hormonal, biochemical (erythrocytes' ChE) systems, systemic damage of CNS	P.2.1.10.1920-04 [4]

Примечание. * – Уникальный численный идентификатор химических соединений.

Note. * – unique numerical identifier of chemical compounds.

Таблица 4 / Table 4

Ранжирование CR, связанных с контаминацией пестицидами (на уровне медианы и 90-го перцентиля) местных пищевых продуктов, выращенных фермерскими хозяйствами экологически неблагоприятных районов Саратовской области
Ranking of CRs associated with pesticide contamination (at the median and 90th percentile levels) of local foods grown on farms in ecologically disadvantaged areas of the Saratov region

Районы Саратовской области Areas of the Saratov region	CR (пожизненный риск), связанные с контаминацией пестицидами CR (lifetime risk) associated with pesticide contamination						Суммарный индивидуальный канцерогенный риск, связанный с контаминацией пестицидами, на уровне The total individual carcinogenic risk associated with pesticide contamination at	
	ДДТ 4,4'-DDT		ГХЦГ Hexachlorocyclohexane		Глифосат Glyphosate		Me	90%
	Me	90%	Me	90%	Me	90%		
Балаковский Balakovsky	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$7.0 \cdot 10^{-8}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
Дергачёвский Dergachevsky	$3.0 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$6.2 \cdot 10^{-8}$	$8.9 \cdot 10^{-8}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$
Ершовский Ershovsky	$3.3 \cdot 10^{-5}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$	$4.9 \cdot 10^{-3}$	$6.5 \cdot 10^{-8}$	$8.7 \cdot 10^{-8}$	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$5.1 \cdot 10^{-3}$
Марковский Marxovsky	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$8.5 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$5.9 \cdot 10^{-8}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{-3}$
Перелюбский Perelyubsky	$4.3 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$6.4 \cdot 10^{-8}$	$8.7 \cdot 10^{-8}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-3}$
Романовский Romanovsky	$4.8 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-8}$	$7.2 \cdot 10^{-8}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-3}$
Саратовский Saratovsky	$4.6 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$4.9 \cdot 10^{-8}$	$2.8 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$
Фёдоровский Fedorovsky	$4.9 \cdot 10^{-5}$	$2.1 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$2.9 \cdot 10^{-3}$	$5.1 \cdot 10^{-8}$	$9.2 \cdot 10^{-8}$	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$3.1 \cdot 10^{-3}$
Энгельский Engelssky	$2.6 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$9.7 \cdot 10^{-3}$	$1.6 \cdot 10^{-8}$	$6.1 \cdot 10^{-8}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$9.8 \cdot 10^{-3}$

Таблица 5 / Table 5

Ранжирование PCR, связанных с контаминацией пестицидами (на уровне медианы и 90-го перцентиля) местных пищевых продуктов, выращенных фермерскими хозяйствами в экологически неблагоприятных районах Саратовской области
Ranking of PCRs associated with pesticide contamination (at the median and 90th percentile levels) of local foods grown on farms in ecologically disadvantaged areas in the Saratov region

Районы Саратовской области Areas of the Saratov region	CR (пожизненный риск), связанные с контаминацией пестицидами CR (lifetime risk) associated with pesticide contamination						Суммарный PCR, связанный с контаминацией пестицидами, на уровне The total PCR associated with pesticide contamination at the level of	
	ДДТ 4,4'-DDT		ГХЦГ Hexachlorocyclohexane		Глифосат Glyphosate		Me	90%
	Me	90%	Me	90%	Me	90%		
Балаковский Balakovsky	7.2	32.0	29.8	702.9	0.003	0.015	37.0	734.9
Дергачёвский Dergachevsky	0.6	2.2	2.4	40.3	0.01	0.016	3.0	42.5
Ершовский Ershovsky	1.2	7.3	8.8	178.9	0.002	0.003	10.0	186.2
Марковский Marxovsky	2.1	10.7	8.8	535.5	0.001	0.004	10.9	546.2
Перелюбский Perelyubsky	0.6	2.0	3.0	24.5	0.0009	0.001	3.6	26.5
Романовский Romanovsky	0.7	2.1	3.8	25.2	0.0003	0.001	4.5	27.3
Саратовский Saratovsky	2.3	9.6	12.1	145.9	0.0005	0.003	14.4	155.5
Фёдоровский Fedorovsky	0.9	4.0	4.8	55.1	0.001	0.002	5.7	59.1
Энгельский Engelssky	8.0	43.3	30.9	2,997.3	0.005	0.02	38.9	3,040.6

обследуемых районов области, но уже как на уровне медианы, так и 90-го перцентиля (табл. 4).

Ранжирование величин популяционных канцерогенных рисков, связанных с контаминацией продуктов пестицидами (на уровне медианы и 90-го перцентиля), нашло отражение в табл. 5 представленных исследований. Учитывая стохастический характер канцерогенных рисков, точно предсказать сроки развития злокачественных новообразований невозможно, однако показать долгосрочную тенденцию к изменению онкологического фона с учётом анализа принятых для исследования данных возможно. В связи с отсутствием выраженных различий в численности населения исследуемых неблагополучных районов области при ранжировании PCR были использованы абсолютные величины единиц измерений.

Так, из данных, представленных в табл. 5, следует, что наиболее высокие показатели величины PCR установлены при употреблении продуктов, производимых в Энгельском, Балаковском, Саратовском и Марксовском районах области (соответственно 38,9; 37; 14,4 и 10,9 дополнительного случая к фоновому уровню онкологических заболеваний). Популяционный канцерогенный риск в среднем на 84,2% был обусловлен контаминацией местных продуктов питания ГХЦГ и на 15,8% – ДДТ.

Обсуждение

В представленной работе расчёты возможного неканцерогенного и канцерогенного рисков пестицидов были основаны на использовании экспозиции не только по медианному содержанию контаминантов в местных продуктах питания, но и с учётом 90-го перцентиля, что имело под собой основу, базирующуюся на выборе для исследования экологически неблагополучных районов области с высокой и постоянной степенью их загрязнения экотоксикантами.

Действующим законодательством стран Евразийского союза при исследовании безопасности пищевой продукции на наличие пестицидов объектом изучения химических контаминантов прежде всего являются ДДТ и ГХЦГ. Последнее связано с тем, что, несмотря на запрет их производства и применения ещё в 2001 г. (согласно Стокгольмской конвенции), данные стойкие органические загрязняющие вещества ранее на протяжении десятилетий широко использовались, что привело к накоплению последних в той или иной изомерной форме в почве и воде.

Проведёнными нами исследованиями, направленными на выявление остаточных количеств хлорорганических пестицидов ГХЦГ (его изомеров α -, β - и γ -линдана) и ДДТ (его метаболитов в сумме), было установлено, что содержание контаминантов в исследуемых местных образцах продуктов питания было минимальным. Наиболее выраженными инсектицидными свойствами в составе ГХЦГ обладал его γ -изомер (линдан). При этом контаминация продуктов питания хлорорганическими ядохимикатами напрямую была связана с ранее установленным содержанием данных пестицидов в региональных объектах окружающей среды и прежде всего почве и воде [6–9].

Наличие выявленных остаточных количеств хлорорганических пестицидов в продуктах питания на территории области можно объяснить длительным преобладанием в структуре экономики региона постоянного воспроизводства сельскохозяйственной продукции с интенсивным использованием пестицидов. Более низкие уровни содержания ДДТ, ГХЦГ и их изомеров и метаболитов в молоке из 3 экологически неблагополучных районов области (Марксовском, Балаковском и Энгельском) можно объяснить особенностями питания коров, в частности, постоянным использованием для питьевых целей животных воды из магистралей централизованной системы водоснабжения р. Волги [10].

Наличие хлорпирифоса в овощной продукции в концентрациях ПДУ на территориях фермерских хозяйств

ряда районов Заволжья (Дергачёвского, Ершовского, Перелюбского и Фёдоровского) было связано с использованием авиационно-химической защиты растений от распространения вредителей (саранчи), надвигающихся с южных (астраханских и волгоградских) регионов низовья р. Волги. Прогноз появления стадной саранчи с последующим её массовым размножением, требующий своевременного проведения обработки инсектицидами, базировался на наличии ранней тёплой весны с низкими и кратковременными паводками, а затем и летней засухой, привлекающей саранчу в период яйцекладки [11].

Напротив, более низкое обнаружение хлорпирифоса в овощной продукции, выращенной на землях личных подсобных хозяйств тех же районов области в концентрациях, составлявших 50% от МДУ, объяснялось частичным заносом пестицида после авиационной обработки, а также традиционным для личных домохозяйств использованием малатиона и его производных в качестве инсектицидов при обработке сельскохозяйственных культур [10].

Наличие содержания глифосата (N-фосфометилглицина) – действующего начала широко используемых гербицидов «Раундап», «Торнадо» для борьбы с сорняками в овощной продукции – связано с низкой токсичностью пестицида (3-й класс токсичности для человека), широким и экономически выгодным применением [2]. Однако за последнее время в зарубежной научной литературе появилось значительное количество публикаций, свидетельствующих о возможном канцерогенном эффекте, связанном с применением гербицидов на основе глифосата [12–15].

Отсутствие содержания фосфорорганических соединений в отобранных и исследуемых пробах мяса и молока, как фермерских, так и личных подсобных хозяйств, объясняется известной их способностью подвергаться быстрому метаболизму в организме животных без кумуляции в тканях и выделении с молоком [10].

Заключение

Ранжирование вклада изучаемых групп пищевых продуктов в экспозицию пестицидами показало, что наибольший медианный уровень загрязнения контаминантами в большинстве изучаемых районов Саратовской области был связан с молочными и овощными продуктами.

Показатели значений HQ, рассчитанные на уровне медианы содержания пестицидов в пищевых продуктах фермерских и личных подсобных хозяйств всех 9 изучаемых сельскохозяйственных районов области, свидетельствовали о допустимом уровне их воздействия.

Установленные значения суммарного неканцерогенного риска, обусловленного контаминацией пестицидами местных продуктов питания на уровне 90-го перцентиля, оказались также на уровне допустимых значений риска в отношении однонаправленного действия поражения: эндокринной системы – за счёт ДДТ, ГХЦГ и малатиона; поражения печени, почек и репродуктивной системы – за счёт действия ДДТ, ГХЦГ, хлорпирифоса и глифосата.

Контаминация местных пищевых продуктов ГХЦГ в экспозициях на уровне медианы и 90-го перцентиля, а также ДДТ на уровне 90% во всех обследуемых районах области создавала неприемлемый для населения CR и требовала проведения постоянного мониторинга экспозиции пестицидов.

Наиболее высокие показатели величин уровней PCR установлены при употреблении продуктов, производимых в Энгельском, Балаковском, Саратовском и Марксовском районах области, соответственно обуславливающие – 38,9; 37; 14,4 и 10,9 дополнительного случая к фоновому уровню онкологических заболеваний. Популяционный канцерогенный риск в данных районах области в среднем на 84,2% был обусловлен контаминацией местных продуктов питания ГХЦГ, на 15,8% – ДДТ.

Литература

(п.п. 12–15 см. References)

1. Попова А.Ю., Ракитский В.Н., Синицкая Т.А., Трухина Г.М., Громова И.П. Актуальность гигиенического нормирования пестицидов в почве. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(6): 485–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-485-489>
2. Хамитова Р.Я., Мирсаитова Г.Т. Современные тенденции в области применения пестицидов. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(4): 23–6.
3. Верещагин А.И., Истомин А.В., Елисеев Ю.Ю., Клещина Ю.В., Павлов Н.Н. Кластеры региональных особенностей питания населения. *Здоровье населения и среда обитания*. 2013; (3): 11–3.
4. Тулина Л.М., Вьяльцина Н.Е., Макарова Т.М., Плотникова Е.Г., Неплохов А.А., Садчикова Г.В. Гигиеническая оценка содержания химических контаминантов в продуктах питания и оценка риска воздействия пищевых продуктов на здоровье населения Оренбургской области. *Анализ риска здоровью*. 2014; (1): 49–56.
5. Истомин А.В., Елисеев Ю.Ю., Елисеева Ю.В. Обусловленность рисков здоровью детского населения химической контаминацией пищевых продуктов в регионе. *Здоровье населения и среда обитания*. 2014; (2): 18–21.
6. Мусаев Ш.Ж., Елисеев Ю.Ю., Луцевич И.Н. Проблема риска для здоровья населения процессов концентрирования химических загрязнений в малых реках Саратовской области. *Гигиена и санитария*. 2012; 91(5): 101–3.
7. Мусаев 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): 1914–6.
8. Мосияш С.А., Орлов А.А., Накарякова М.В., Кураева Т.Г. Гигиенические аспекты использования малых водотоков Нижнего Поволжья для сельского водоснабжения. *Здоровье населения и среда обитания*. 2011; (11): 27–9.
9. Кожанова О.И. Социально-гигиенический мониторинг в системе управления здоровьем населения Саратовской области: Информационно-аналитический сборник Управления Роспотребнадзора по Саратовской области за 2012–2017 гг. Саратов; 2018.
10. Елисеев Ю.Ю., Чехомов С.Ю., Елисеева Ю.В. Сравнительное гигиеническое изучение содержания некоторых пестицидов в сельскохозяйственной продукции фермерских подсобных хозяйств. *Санитарный врач*. 2020; (9): 52–61. <https://doi.org/10.33920/med-08-2009-05>
11. Каменченко С.Е., Стрижков Н.И., Наумова Т.В. Факторы, влияющие на динамику популяций вредных саранчовых в Нижнем Поволжье. *Земледелие*. 2012; (1): 41–3.

References

1. Popova A.Yu., Rakitskiy V.N., Sinitckaya T.A., Trukhina G.M., Gromova I.P. Urgency of hygienic rating of pesticides in the soil. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(6): 485–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-485-489> (in Russian)
2. Khamitova R.Ya., Mirsaitova G.T. Current trends in the use of pesticides. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(4): 23–6. (in Russian)
3. Vereshchagin A.I., Istomin A.V., Eliseev Yu.Yu., Kleshchina Yu.V., Pavlov N.N. Clusters of regional peculiarities for population nutrition. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2013; (3): 11–3. (in Russian)
4. Tulina L.M., Vyal'tsina N.E., Makarova T.M., Plotnikova E.G., Neplokhov A.A., Sadchikova G.V. 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. *Analiz riska zdorov'yu*. 2014; (1): 49–56. (in Russian)
5. Istomin A.V., Eliseev Yu.Yu., Eliseeva Yu.V. Conditionality of risks to children's health by chemical contamination of food products in the region. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2014; (2): 18–21. (in Russian)
6. Musaev Sh.Zh., Eliseev Yu.Yu., Lutsevich I.N. Problem of risk of processes of increasing in the concentration of chemical pollutants in the small rivers of the Saratov region for population health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2012; 91(5): 101–3. (in Russian)
7. Musaev Sh.Zh., Eliseev Yu.Yu., Lutsevich I.N. Mechanisms of chemical compounds behaviour in superficial, volume layers and bottom sediments of reservoirs at their anthropogenous pollution. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2011; 13(1–8): 1914–6. (in Russian)
8. Mosiyash S.A., Orlov A.A., Nakaryakova M.V., Kuraeva T.G. Hygienic aspects of using small streams of the Lower Volga region for rural water supply. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2011; (11): 27–9. (in Russian)
9. Kozhanova O.I. Social and hygienic monitoring in the health management system of the population of the Saratov region: Information and analytical collection of the Office of Rosпотребнадзор in the Saratov region for 2012–2017. Saratov; 2018. (in Russian)
10. Eliseev Yu.Yu., Chekhomov S.Yu., Eliseeva Yu.V. Comparative hygienic study of the content of certain pesticides in agricultural products of farms and private farms. *Sanitarnyy vrach*. 2020; (9): 52–61. <https://doi.org/10.33920/med-08-2009-05> (in Russian)
11. Kamenchesko S.E., Strizhkov N.I., Naumova T.V. Factors influencing on dynamic of locustides quantity in low Volga river regions. *Zemledelie*. 2012; (1): 41–3. (in Russian)
12. Hayes A.W. Editor in Chief of Food and Chemical Toxicology answers questions on retraction. *Food Chem. Toxicol.* 2014; 65: 394–5. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.01.006>
13. Séralini G.E., Mesnage R., Defarge N., Spiroux de Vendômois J. Conclusiveness of toxicity data and double standards. *Food Chem. Toxicol.* 2014; 69: 357–9. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.04.018>
14. Davoren M.J., Schiestl R.H. Glyphosate-based herbicides and cancer risk: a post-IARC decision review of potential mechanisms, policy and avenues of research. *Carcinogenesis*. 2018; 39(10): 1207–15. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgy105>
15. Williams A.L., Watson R.E., DeSesso J.M. Developmental and reproductive outcomes in humans and animals after glyphosate exposure: a critical analysis. *J. Toxicol. Environ. Health. Pt B: Crit. Rev.* 2012; 15(1): 39–96. <https://doi.org/10.1080/10937404.2012.632361>