

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643208>

EDN: EMTGYU

Повышение уровня контаминации организма человека кадмием при дополнении его рациона семенами подсолнечника

С.Р. Афонькина¹, М.Р. Яхина¹, Э.Н. Усманова¹, Г.Р. Аллаярова¹, М.И. Астахова²,
Т.К. Ларионова¹, Р.А. Даукаев¹, А.С. Фазлыева¹

¹ Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия;

² Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Семена подсолнечника отличаются доступностью, высокой питательной ценностью и относительно низкой стоимостью в течение всего года. Медицинские специалисты и эксперты в области прикладных наук подчёркивают целесообразность включения цельнозернового подсолнечника в рацион питания населения. Вопрос безопасности продукции для потребителя, в частности повышенного содержания кадмия в семенах подсолнечника, периодически рассматривают в средствах массовой информации. Масложировой Союз России не отрицает наличие данной проблемы. При этом отсутствует единая точка зрения среди учёных относительно допустимого содержания тяжёлых металлов в продуктах питания и их влияния на человека и пищевую цепь в целом.

Цель. Оценить вклад кадмия в общую токсическую нагрузку от тяжёлых металлов, содержащихся в семенах подсолнечника, а также определить потенциальные риски для здоровья при их регулярном потреблении с использованием метода имитационного моделирования рациона.

Материалы и методы. Проведено исследование продуктов питания регионального происхождения и проб воды из 27 источников централизованного водоснабжения с территорий проживания участников эксперимента. Собраны и обработаны анкеты воспроизведения семидневного рациона питания и потребления воды 160 физически здоровых респондентов фертильного возраста. Кроме того, выполнен химический анализ 26 образцов грызовых семян подсолнечника на содержание кадмия и других токсичных элементов.

Результаты. Допустимая концентрация токсичных элементов в семенах подсолнечника превышена только по кадмию и составляет $0,23 \pm 0,06$ мг/кг. При потреблении семян в количестве, рекомендуемом нутрициологами (50 г в день), в организм поступает от 0,007 до 0,009 мг кадмия, что в два раза превышает поступление с пищей и водой $0,0033 \pm 0,0012$ и $0,0007 \pm 0,0003$ мг соответственно.

Заключение. Имитационное моделирование включения в рацион питания 50 г семян подсолнечника грызовых сортов позволяет спрогнозировать уровень перорального поступления кадмия, который в среднем составляет 31,4% предельно допустимого суточного поступления, принятого в Российской Федерации.

Ключевые слова: кадмий; рацион питания; семена подсолнечника; накопление в растениях, животных и человеке; границы безопасности.

Как цитировать:

Афонькина С.Р., Яхина М.Р., Усманова Э.Н., Аллаярова Г.Р., Астахова М.И., Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Фазлыева А.С. Повышение уровня контаминации организма человека кадмием при дополнении его рациона семенами подсолнечника // Экология человека. 2024. Т. 31, № 12. С. 921–930.

DOI: 10.17816/humeco643208 EDN: EMTGYU

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643208>

EDN: EMTGYU

Increased Human Body Contamination With Cadmium Following Inclusion of Sunflower Seeds in Diet

Svetlana R. Afonkina¹, Margarita R. Yakhina¹, Elsa N. Usmanova¹, Guzel R. Allayarova¹, Margarita I. Astakhova², Tatiana K. Larionova¹, Rustem A. Daukaev¹, Anna S. Fazlieva¹

¹ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia;

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Sunflower seeds are characterized by their year-round availability, high nutritional value, and relatively low cost. Medical professionals and applied science experts emphasize the importance of incorporating whole sunflower seeds into the general population's diet. However, concerns about consumer safety—particularly the elevated cadmium content in sunflower seeds—are periodically raised in mass media. The Oil and Fat Union of Russia acknowledges the existence of this issue. At the same time, there is no consensus among scientists regarding the permissible levels of heavy metals in food and their overall impact on human health and the food chain.

AIM: The study aimed to assess the contribution of cadmium to the total toxic load from heavy metals present in sunflower seeds and to determine potential health risks associated with their regular consumption using dietary simulation modeling.

MATERIALS AND METHODS: The study included food products of regional origin and water samples from 27 centralized water supply sources located in the areas where study participants resided. Seven-day dietary and water intake recall questionnaires were collected and processed from 160 physically healthy respondents of reproductive age. In addition, cadmium and other toxic elements were measured in 26 samples of snack-type sunflower seeds using chemical analysis.

RESULTS: The permissible concentration of toxic elements in sunflower seeds was exceeded only for cadmium, with an average content of 0.23 ± 0.06 mg/kg. Daily consumption of the seeds in the amount recommended by nutritionists (50 g per day), cadmium intake ranges from 0.007 to 0.009 mg, which is twice as high as the intake from food and water— 0.0033 ± 0.0012 mg and 0.0007 ± 0.0003 mg, respectively.

CONCLUSION: Simulation modeling of dietary inclusion of 50 g of snack-type sunflower seeds predicts an oral cadmium intake corresponding to an average of 31.4% of the tolerable daily intake established in the Russian Federation.

Keywords: cadmium; diet; sunflower seeds; bioaccumulation in plants, animals, and humans; safety thresholds.

To cite this article:

Afonkina SR, Yakhina MR, Usmanova EN, Allayarova GR, Astakhova MI, Larionova TK, Daukaev RA, Fazlieva AS. Increased human body contamination with cadmium following inclusion of sunflower seeds in diet. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(12):921–930. DOI: 10.17816/humeco643208
EDN: EMTGYU

Submitted: 19.12.2024

Accepted: 23.05.2025

Published online: 09.06.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643208>

EDN: EMTGYU

食用向日葵种子导致人体镉污染水平升高

Svetlana R. Afonkina¹, Margarita R Yakhina¹, Elsa N. Usmanova¹, Guzel R. Allayarova¹, Margarita I. Astakhova², Tatiana K. Larionova¹, Rustem A. Daukaev¹, Anna S. Fazlieva¹

¹ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia;

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

摘要

论证。向日葵种子全年均具有可得性、高营养价值和相对低廉的价格。医学专家与应用科学领域的研究人员普遍建议在人群膳食中加入整粒向日葵籽。关于面向消费者的产品安全问题，尤其是向日葵种子中镉含量偏高的情况，媒体时常予以关注。Oil and Fat Union of Russia亦未否认该问题的存在。同时，科学界尚无关于食品中重金属允许含量及其对人体和整个食物链影响的统一观点。

目的。评估向日葵种子中镉在食物中所含重金属总体毒性负担中的贡献，并通过模拟膳食结构，评估其经常性摄入对健康的潜在风险。

材料与方法。研究包括对参与者居住区域的地方食品样本及27处集中供水水源水样的检测分析。收集并处理了160名身体健康、处于育龄阶段的受试者关于7天食物摄入与饮水情况的回顾性问卷。另对26份咀嚼类向日葵种子样本进行了镉及其他有毒元素的化学分析。

结果。在向日葵种子中，所有检测的有毒元素中，只有镉的含量超过了允许浓度，达到 0.23 ± 0.06 mg/kg。在按营养学家推荐的每日摄入量（50克）食用向日葵种子的情况下，人体可摄入 $0.007 - 0.009$ 毫克镉，这一数值约为通过食物和饮水摄入量（分别为 0.0033 ± 0.0012 毫克和 0.0007 ± 0.0003 毫克）的两倍。

结论。膳食模拟显示，将50克咀嚼类向日葵种子纳入膳食结构，可预测其所致的镉经口摄入量，平均相当于俄罗斯联邦规定的每日允许摄入上限的31.4%。

关键词：镉；膳食结构；向日葵种子；植物、动物与人体的积累；安全限值。

引用本文：

Afonkina SR, Yakhina MR, Usmanova EN, Allayarova GR, Astakhova MI, Larionova TK, Daukaev RA, Fazlieva AS. 食用向日葵种子导致人体镉污染水平升高. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(12):921–930. DOI: 10.17816/humeco643208 EDN: EMTGYU

收到: 20.12.2024

接受: 23.05.2025

发布日期: 09.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В трофической нише человека подсолнечник уступает по значению злаковым культурам, однако играет важную роль в обеспечении нутриентами. Семена подсолнечника содержат широкий спектр фитохимических веществ и минеральных элементов, причём по их концентрации и биодоступности для организма человека они нередко превосходят орехи [1, 2]. Их регулярное потребление способствует защите кожи от действия свободных радикалов [3, 4], снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, нормализации содержания холестерина, уровня артериального давления и контролю за течением сахарного диабета 2 типа [5–7]. Введение в ежедневный рацион 30 г семян подсолнечника способствует снижению концентрации глюкозы крови, что связано с содержанием хлорогеновой кислоты [7]. Указанное количество нежареных очищенных семян обеспечивают более 40% рекомендуемой суточной потребности взрослого человека в фосфоре, меди, селене, витаминах Е и В5, 30% — в марганце, 17–18% — в витаминах В9 и РР, и около 10% — в калии и магнии¹.

Наряду с пищевой ценностью продукта необходимо учитывать и показатели пищевой безопасности для человека, в первую очередь по содержанию кадмия, свинца, ртути и мышьяка, токсическое действие которых связано с их способностью комплексообразования с SH-группами белков. Накопление этих элементов сопряжено с риском биоаккумуляции и биомagniфикации в органах и тканях при их избыточном поступлении, что может приводить к нарушению физиолого-биохимических механизмов защиты от токсического воздействия [8].

Россия занимает лидирующие позиции в мировом производстве семян подсолнечника и подсолнечного масла, обеспечивая валовой сбор в объёме 5,65 млн тонн на территории, составляющей 22,9% всех мировых посевных площадей [9]. Периодически в средствах массовой информации поднимают вопрос о высоких концентрациях тяжёлых металлов в семенах подсолнечника, реализуемых через торговые сети, чаще всего речь идёт о кадмии, содержание которого может превышать 0,2 мг/кг.

Подавление активности липазы в семенах подсолнечника происходит при контаминации кадмием в концентрации, составляющей 0,2 предельно допустимой концентрации (ПДК) [10]. Ионы ртути в количестве 0,25 ПДК снижают активность кислой и щелочной липазы на 42,4–45,8%, а при концентрации, достигающей 1,0 ПДК, ферментативная активность почти полностью ингибируется. В сравнении с кадмием и ртутью ионы свинца обладают меньшей ингибирующей способностью: при содержании 1,0 ПДК активность липазы снижается в 1,7 раза [11].

При равных агротехнологических условиях семена подсолнечника накапливают кадмий в больших количествах по сравнению с большинством других зерновых и масличных культур. При суточном потреблении 28,35 г (одна унция) на протяжении 48 нед. поступление кадмия не превышает установленного Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) допустимого недельного лимита в 490 мкг и не влияет отрицательно на здоровье добровольцев [12].

В популяциях, где рис является основным продуктом питания, отмечают повышенную восприимчивость к токсическим эффектам кадмия. В эксперименте на лабораторных крысах показано, что введение в рацион ядер подсолнечника снижает усвоение кадмия за счёт высокого содержания кальция, железа и цинка [13]. Положительное влияние умеренного избытка некоторых микроэлементов на снижение, всасывания и накопления кадмия доказано также в исследованиях с участием японских перепелов [14].

Среди тяжёлых металлов кадмий является одним из наиболее распространённых загрязнителей окружающей среды крупных городов. Он относится к кумулятивным ядам со сроками выведения 25–30 лет [15].

С точки зрения продовольственной безопасности концентрация кадмия является важным параметром для мониторинга, поскольку пищевые продукты — основной источник поступления кадмия в организм человека². Допустимое месячное потребление кадмия, установленное экспертами ВОЗ, составляет 25 мкг на 1 кг массы тела человека.

Абсорбция кадмия из желудочно-кишечного тракта составляет 5–10%, однако, попадая в системный кровоток и достигая печени, гепатоциты его поглощают, что сопровождается активацией синтеза металлотионеина. В результате образуется комплекс — кадмий–металлотионеин (Cd-MT), который с током крови поступает в почки, где вследствие высокой реабсорбционной способности проксимальных канальцев накапливается в их клетках и со временем вызывает повреждение тканей [16, 17].

При моделировании интоксикации крыс солями кадмия, проведённом токсикологами Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека, установлено, что при 10-кратном превышении безопасной дозы наибольшее накопление металла наблюдают уже не в почках, а в печени [18].

Основной механизм токсического действия кадмия — это замещение других двухвалентных катионов, преимущественно в составе белковых молекул. В процессе эволюции растения сформировали механизмы защиты, направленные на сохранение функционирования

¹ Sunflower seed nutrition: calories, carbs, GI, protein, fiber, fat; [около 14 страниц]. В: Food Struct [Internet]. Boston: FoodStruct, 2016–2024. Режим доступа: <https://foodstruct.com/food/sunflower-seed> Дата обращения: 16.08.2024.

² Commission Regulation (EC) No. 1881/2006. Commission Directive of 19 December 2006 "Setting maximum levels for certain contaminants in food stuffs". Official Journal of the European Communities. L364:5–24. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF> Дата обращения: 16.08.2022.

жизненно важных метаболических путей, однако у подсолнечника кадмий преодолевает эти барьеры, проникая в клетки по тем же транспортным путям, что и микроэлементы. Это приводит к нарушению механизмов переноса и распределения питательных веществ. Одним из защитных механизмов растения служит депонирование токсиканта в семенах, что снижет нагрузку на корневую систему и минимизирует повреждение её клеток. Экспериментально установлено, что концентрация кадмия в семядолях может достигать 10–20 мкг/г. Таким образом, потребление всего 7 г семян может обеспечить поступление ПДК кадмия — в 70 мкг, учитывая массу тела 70 кг. Кроме того, в семенах подсолнечника наблюдают значительный дисбаланс металлов, проявляющийся не только в изменении содержания меди, марганца и железа, но и в нарушении их распределения в семенах. Поскольку семядоли составляют основную часть, потребляемую в пищу, подсолнечник, выращенный на почвах с уровнем загрязнения, аналогичным использованному в эксперименте, представляет потенциальную угрозу для здоровья человека [19].

По степени биодоступности основных и токсичных металлов, содержащихся в съедобных частях орехов и семян подсолнечника, ртуть отличается наименьшей диализируемостью — не более 3,8%. Кадмий, как и большинство микроэлементов, характеризуется умеренной доступностью, в то время как транслокация мышьяка варьирует в широком диапазоне — от 28 до 75%. Установлено, что степень биодоступности коррелирует с составом микронутриентов: содержание жира снижает диализируемость металлов, тогда как углеводы, напротив, повышают её. Белок и пищевые волокна не влияют на биодоступность металлов [1, 20].

С увеличением знаний о биологической ценности подсолнечника его семена занимают всё более значимое место в рационе человека. Вместе с тем в научной литературе подсолнечник всё чаще рассматривают как растение-аккумулятор кадмия, способное депонировать этот ксенобиотик в семенах. Выводы общественных организаций нашли подтверждение в результатах анализа, проведённого специалистами испытательной лаборатории Омского филиала ФГБУ «Центр оценки качества зерна». Согласно полученным данным, среднее содержание кадмия в семенах подсолнечника, поступающих в продажу через торговые сети с наличием документов сертификации или декларирования, в 24% образцов превышало концентрацию 0,1 мг/кг³. Аналогичных подходов к оценке безопасности

продукции придерживаются: независимый центр АНО «Союзэкспертиза» Торгово-промышленной Палаты Российской Федерации, общество защиты прав потребителей «Общественный контроль»⁴. В то же время сегодня действуют «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)»⁵, в которых ПДК кадмия для семян подсолнечника составляет 0,2 мг/кг. Завышение этого порогового значения объясняется Масложировым Союзом России как: «...объективная ситуация с данным видом сырья на рынке России»⁴. В то же время в основополагающем документе — Техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) ПДК кадмия в семенах масличных культур не установлена.

Согласно данным ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров», при анализе 92 образцов семян подсолнечника, собранных в различных регионах России, выявлен значительный разброс концентраций кадмия, зависящий от географического происхождения сырья⁴.

Анализ поведения тяжёлых металлов в почвах придорожных агроценозов подсолнечника был предметом исследований, проведённых в Воронежском государственном аграрном университете. Установлено, что степень транслокации свинца и кадмия в подсолнечник коррелирует с содержанием их подвижных форм в почве. На уровень накопления металлов влияют такие факторы, как удалённость от автодорог, состав и дозы агрохимикатов, погодные условия и особенности технологии выращивания. В зависимости от сочетания этих условий содержание свинца в растениях превышало в 2,9–5,3 раза, кадмия — в 1,4–3,2 раза [21]. При этом установлено, что переход кадмия из почвы в соцветия подсолнечника не зависит от её подтипа [22].

Цель

Оценить вклад кадмия в общую токсическую нагрузку от тяжёлых металлов, содержащихся в семенах подсолнечника, а также определить потенциальные риски для здоровья при их регулярном потреблении применить метод имитационного моделирования рациона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования приобретены семена подсолнечника 10 торговых марок, а также отобраны 16 проб семян в фазе хозяйственной спелости с пригородных

³ Содержание кадмия как показатель безопасности масличных культур; [около 2 страниц]. В: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр оценки безопасности и качества продукции агропромышленного комплекса» [интернет]. Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр оценки безопасности и качества продукции агропромышленного комплекса», 2017–2024. Режим доступа: <https://agbz.ru/articles/soderzhanie-kadmija-kak-pokazatel-bezopasnosti-maslichnyih-kultur/> Дата обращения: 16.08.2024.

⁴ Сколько кадмия может быть в семечке?; [около 2 страниц]. В: RosInvest.Com; 2012–2024. Режим доступа: <https://rosinvest.com/novosti/940572> Дата обращения: 16.08.2024.

⁵ Решение Комиссии Таможенного союза № 299 от 28 мая 2010 г. «О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе». Режим доступа: <https://www.alt.ru/tamdoc/10sr0299/> Дата обращения: 12.11.2024.

участков промышленно развитого города Уфа (по 500 г с каждой точки). Освобождённые от лузги измельчённые семена весом около 0,5 г помещали в тефлоновые стаканы с 8 мл концентрированной азотной кислоты [65%, для анализа, Merck KGaA (Германия) и EMD Millipore Corporation (Канада)] и подвергали микроволновому разложению в соответствии с рекомендациями производителя микроволновой системы Speedwave Xpert® (Berghof, Германия). Количественное определение содержания кадмия и свинца в образцах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией в графитовой печи; определение мышьяка — методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией [AA240Z, AA240FS (Varian, Австралия)]. Общую ртуть определяли атомно-абсорбционным методом на анализаторе ртути РА-915М с использованием приставки ПИРО-915+ (Люмэкс, Россия).

Пероральное поступление кадмия рассчитывали с учётом среднестатистических региональных значений его содержания в продуктах питания и питьевой воде, характерных для зоны проживания респондентов. Данные получены на основании многолетних наблюдений испытательного центра, действующего при ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека».

Моделирование дополнительной контаминации кадмием при введении семян подсолнечника в рацион осуществляли на основании усреднённых результатов собственных исследований, пересчитанных на 50 г продукта — количество, рекомендованное к употреблению специалистами факультета пищевых наук и технологий университета Касетсарта (Таиланд) [23].

Критерии соответствия

Расчёт перорального поступления кадмия в течение недели произведён с письменного согласия 160 чел., данные которых соответствуют условиям:

- состояние здоровья — I группа;
- фертильный возраст, соответствующий гендеру (15–65 лет);
- нормальный индекс массы тела (индекс Кетле) — 20,0–25,9;
- масса тела, приближенная к расчётной по требованиям ВОЗ — 70 кг;
- отсутствие семян подсолнечника в рационе в течение исследуемой недели.

Условия проведения

Аналитическая работа выполнена в аккредитованной лаборатории испытательного центра ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» и зарегистрирована в Реестре баз данных № 2024624090 Федеральной службы по интеллектуальной

собственности^{6,7} на основании анкет респондентов с 2016 по 2023 год.

Статистический анализ

При статистической обработке материала (расчёте средних показателей, стандартного отклонения коэффициента вариации) использованы программные пакеты Microsoft Excel (Microsoft, Соединённые Штаты Америки).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рекогносцировочный анализ семян подсолнечника стал результатом ответа на вопрос, периодически поднимаемый в средствах массовой информации, о повышенных уровнях их загрязнения кадмием.

На первом этапе исследования осуществлён количественный анализ содержания токсичных элементов в семенах подсолнечника производственной расфасовки, предназначенного для непосредственного употребления в пищу, для чего приобретён весь ассортимент грызовых семян в крупном супермаркете (табл. 1).

Таблица 1. Количественное содержание токсичных элементов в семенах подсолнечника, поставляемых производителями в торговую сеть

Table 1. Quantitative content of toxic elements in sunflower seeds supplied by producers to the retail market

Образец Sample	Содержание, мг/кг Concentration, mg/kg			
	Pb	Cd	As	Hg
№ 1	0,23±0,08	0,013±0,004	<0,01	<0,0025
№ 8	0,28±0,10	0,027±0,008	<0,01	<0,0025
№ 7	0,25±0,09	0,034±0,010	<0,01	<0,0025
№ 4	0,33±0,12	0,091±0,027	<0,01	<0,0025
№ 5	0,03±0,01	0,184±0,055	<0,01	<0,0025
№ 10	<0,02	0,193±0,058	<0,01	<0,0025
№ 2	<0,02	0,203±0,061	<0,01	<0,0025
№ 3	<0,02	0,250±0,075	<0,01	<0,0025
№ 9	<0,02	0,253±0,076	<0,01	<0,0025
№ 6	<0,02	0,295±0,089	<0,01	<0,0025

⁶ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624090/ 12.09.2024. Бюл. № 9. Яхина М.Р., Валеев Т.К., Зеленковская Е.Е., и др. Структура фактического недельного рациона на примере населения территорий Республики Башкортостан с различной экономической специализацией. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_69586451_36328408.PDF Дата обращения: 12.09.2024.

⁷ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624203/ 26.09.2024. Бюл. № 10. Яхина М.Р., Валеев Т.К., Зеленковская Е.Е., и др. Количественная оценка нутриентов и токсичных элементов в рационе питания работников непродовольственной сферы. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_73233368_16143777.PDF Дата обращения: 12.09.2024.

Во всех образцах ядер семян подсолнечника, полученных от разных товаропроизводителей, содержание мышьяка и ртути было ниже предела обнаружения применяемых методов анализа. Количественное содержание свинца не превышает 0,3 ПДК. Концентрация кадмия в семенах составила до 0,1 мг/кг в трёх пробах, до 0,2 мг/кг — в одной и до 0,3 мг/кг — в пяти. Полученные результаты свидетельствуют о том, что даже при ограниченной выборке прослеживается высокая вероятность превышения нормативов по кадмию при регулярном потреблении семечек, что создаёт потенциальный риск для здоровья человека.

Кроме того, провели анализ семян подсолнечника с сельскохозяйственных полей и частных подворий, примыкающих к городу-миллионеру Республики Башкортостан.

Результат атомно-абсорбционного исследования 16 образцов семян подсолнечника, выращенного на территории Центрального промышленного района Башкирии представлен в табл. 2.

В этих образцах содержание мышьяка не превышало 0,2 ПДК. Зафиксирован единичный случай превышения ПДК по ртути в семенах, собранных вблизи железной дороги.

Повышенные концентрации свинца выявлены в семечках, отобранных на территориях с интенсивным

автомобильным движением. В пробах, собранных вдоль автомагистрали, зафиксировано превышение ПДК, максимальные значения содержания кадмия.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, подсолнечник однозначно следует отнести к растениям-аккумуляторам кадмия. В условиях антропогенного загрязнения среды концентрации кадмия, ранее рассматривавшиеся как предельно допустимые, сегодня агропромышленными структурами воспринимаются фактически как фоновые. Отсутствие единых подходов к определению безопасного содержания кадмия в семенах подсолнечника обосновывает необходимость оценки потенциального вклада перорального поступления данного токсиканта на накопление в организме.

С этой целью произведён анализ 7-дневного питания и потребления жидкости 160 респондентов: спортсменов, тренеров и учителей физкультуры, относящихся к I группе здоровья, репродуктивного возраста (35±14 лет), с нормальным индексом массы тела (24,7±3,7) и средней массой тела (69,4±12,1 кг).

Оценка 1120 рационов респондентов из отобранной группы показала, что при среднем потреблении

Таблица 2. Вариационно-статистические показатели содержания токсикантов в семенах подсолнечника

Table 2. Variational and statistical indicators of the content of toxicants in sunflower

Образец Sample	Содержание, мг/кг Concentration, mg/kg			
	Pb	Cd	As	Hg
Поле, расположенное вдоль транспортной магистрали М-7 Roadside field along M-7 highway				
в 15 м от автотрассы 15 m from the road	1,52±0,53	0,24±0,07	<0,01	<0,0025
в 25 м от автотрассы 25 m from the road	1,09±0,38	0,28±0,09	<0,01	0,017±0,007
в 50 м от автотрассы 50 m from the road	1,11±0,39	0,25±0,08	<0,01	<0,0025
Коттеджная застройка вблизи федеральной автодороги М-5 Cottage development near M-5 federal highway				
жилой район residential area	0,31±0,11	0,40±0,12	<0,01	<0,0025
новостройка new housing development	0,71±0,25	1,16±0,35	<0,01	<0,0025
Садовое товарищество вдоль железной дороги Dacha cooperative along the railway				
Сельскохозяйственный район Agricultural area				
для пищевого потребления (семечка) for human consumption (snack seeds)	0,12±0,04	0,073±0,022	0,035±0,012	0,006±0,002
для производства комбикорма for compound feed production	0,45±0,16	0,095±0,029	<0,001	<0,0025
поле 1 field 1	0,55±0,19	0,049±0,015	<0,001	<0,0025
поле 2 field 2	0,38±0,13	0,093±0,028	<0,01	<0,0025
поле 3 field 3	0,31±0,11	0,091±0,027	<0,01	<0,0025
поле 4 field 4	0,33±0,12	0,14±0,04	<0,001	<0,0025
Семена, полученные в опытном хозяйстве Seeds from experimental farm				
высококачественные high-quality	0,18±0,06	0,016±0,005	0,05±0,02	<0,0025
экологически чистые environmentally safe	<0,02	0,016±0,005	0,05±0,02	<0,0025
фуражные fodder-grade	0,17±0,06			<0,0025
некондиционные nonconforming	0,21±0,07	0,067±0,020	0,05±0,02	<0,0025

Таблица 3. Допустимая суточная доза кадмия при хроническом пероральном поступлении

Table 3. Tolerable daily intake of cadmium for chronic oral exposure

Нормативный документ Regulatory document	Референтная доза Cd Reference dose for Cd	Страна/Организация Country / Organization
Агентство по токсичным веществам и регистрации заболеваний Agency for Toxic Substances and Disease Registry	0,0001 мг/кг в сутки 0.0001 mg/kg/day	Соединённые Штаты Америки (Федеральное) United States of America (Federal)
«Р 2.1.10.3968-23. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. Руководство» (утверждено Роспотребнадзором 06.09.2023) R 2.1.10.3968-23. 2.1.10. <i>Public health status in relation to environmental conditions and living environment. Guidelines for health risk assessment under exposure to chemical substances polluting the environment</i> (approved by Rosпотребнадzor on September 6, 2023)	0,0005 мг/кг в сутки 0.0005 mg/kg/day	Россия Russia
Управление по оценке опасных факторов окружающей среды Office of Environmental Health Hazard Assessment		Соединённые Штаты Америки (Федеральное) United States of America (Federal)
Всемирная организация здравоохранения World Health Organization	0,025 мг/кг в месяц 0.025 mg/kg/month	Всемирная организация здравоохранения World Health Organization
Интегрированная информационная система оценки химических рисков Агентства по охране окружающей среды Соединённых Штатов Америки Integrated Risk Information System, United States Environmental Protection Agency	0,001 мг/кг в сутки 0.001 mg/kg/day	Соединённые Штаты Америки (Федеральное) United States of America (Federal)

1611±638 и 986±237 г пищи и водопроводной воды, супов и напитков соответственно, в организм здоровых жителей Республики Башкортостан поступает кадмия в количестве 0,004 мг (в том числе с пищей и водой — 0,0033±0,0012 и 0,0007±0,0003 мг соответственно). Согласно расчётам Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, это значение не превышает реперной дозы кадмия 0,000 55 мг/кг в сутки [24].

На этом фоне становится очевидной значимость повышения поступления кадмия в организм человека при употреблении семян подсолнечника. Так, всего 50 г семян содержат кадмий в среднем в 2 раза больше ($\bar{x}_{\text{грязевых сортов}}=0,007$ мг; $\bar{x}_{\text{проанализированных проб}}=0,009$ мг), чем его поступает ежедневно с пищей и водой (0,004 мг) у участников анкетно-экспериментальной части исследования, потреблявших в среднем 1611 и 986 г пищи и воды в сутки соответственно.

Определение референтной дозы для суперэкоотоксикантов (таких как кадмий) производится с учётом их влияния на репродуктивную систему, а также нейротоксических, гематологических, цитотоксических, цитогенетических и иммунотоксических эффектов. В случае кадмия установлено, что он накапливается в различных тканях и органах, обладающих низкой способностью к метаболизму и детоксикации [25].

Пищевые продукты являются основным источником поступления кадмия в организм — до 90%. Его уровень выведения низкий (около 0,001%, преимущественно с мочой), что требует строгого нормирования поступления. Однако вопрос о ПДК кадмия остаётся дискуссионным,

и в научной среде наблюдают существенные расхождения (табл. 3).

Ограничения исследования

Имитационная модель построена на рационе здоровых респондентов с адекватным пищевым поведением, а расчёты содержания кадмия в пищевых продуктах — на основе усреднённых региональных значений. Это свидетельствует о том, что в реальных условиях при наличии дополнительных источников загрязнения фактическая дозовая нагрузка может быть значительно выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подсолнечник обладает высокой биологической и пищевой ценностью, что улучшает качество питания сельскохозяйственных животных и человека без применения синтетических добавок. В то же время растение характеризуется выраженной способностью накапливать кадмий, преимущественно в его репродуктивной части, что представляет опасность при его возделывании в условиях антропогенного загрязнения.

По результатам аналитического этапа исследования установлено, что в 40% случаев в продажу поступают семена подсолнечника, не соответствующие гигиеническим нормативам по содержанию кадмия. Наибольшая степень контаминации тяжёлыми металлами зафиксирована у масличных сортов, выращенных вблизи транспортной инфраструктуры.

Мы смоделировали ситуацию повышения содержания кадмия в рационе питания респондентов при добавлении

биологически обоснованного количества семян подсолнечника исследованных образцов. Следует отметить, что при потреблении всего с 50 г цельных семян подсолнечника возможное поступление кадмия составляет от 0,0001 мг в сутки и выше, что само перекрывает ПДК.

Результаты имитационного моделирования показали, что при включении семян подсолнечника в рацион суточное поступление кадмия может достигать $0,011 \pm 0,005$ мг, что составляет около 15,7% ПДК, по данным ВОЗ, и в среднем 31,4% значения, принятого в Российской Федерации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.Р. Афонкина — концепция и дизайн исследования, сбор данных; М.Р. Яхина — концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание текста рукописи; Э.Н. Усманова, Г.Р. Аллаярлова, М.И. Астахова — анализ данных; Т.К. Ларионова — написание текста рукописи; Р.А. Даукаев — редактирование текста рукописи; А.С. Фазлыева — сбор данных. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено на заседании биоэтической комиссии ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» (протокол № 01-12 от 23.12.2024).

Источник финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution: S.R. Afonkina: concept and design of the study, data collection; M.R. Yakhina: concept and design of the study, data processing, writing—original draft; E.N. Usmanova, G.R. Allayarova, M.I. Astakhova: data processing; T.K. Larionova writing—original draft; R.A. Dukaev writing—review & editing; A.S. Fazlyeva: data collection. All authors approved the version of the manuscript to be published and agree to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved at a meeting of the bioethical commission Ufa Scientific Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology (Protocol No. 01-12 dated December 23, 2024).

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Moreda-Piñero J, Herbello-Hermelo P, Domínguez-González R, et al. Bioavailability assessment of essential and toxic metals in edible nuts and seeds. *Food Chemistry*. 2016;205:146–154. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.03.006
- Bielecka J, Puścion-Jakubik A, Markiewicz-Żukowska R, et al. Assessment of the safe consumption of nuts in terms of the content of toxic elements with chemometric analysis. *Nutrients*. 2021;13(10):3606. doi: 10.3390/nu13103606 EDN: KXRVSL
- Adeleke BS, Babalola OO. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science & Nutrition*. 2020;8(9):4666–4684. doi: 10.1002/fsn3.1783 EDN: GIXDYF
- Shikh EV, Makhova AA, Pogozeva AV, Elizarova EV. The importance of nuts in the prevention of various diseases. *Problems of Nutrition*. 2020. 89(3):14–21. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10025 EDN: DJJB0F
- Nunes DO, Marques VB, Almenara CCP, et al. Linoleic acid reduces vascular reactivity and improves the vascular dysfunction of the small mesentery in hypertension. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2018;62:18–27. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10025 EDN: DJJB0F
- Richmond K, Williams S, Mann J, et al. Markers of cardiovascular risk in postmenopausal women with type 2 diabetes are improved by the daily consumption of almonds or sunflower kernels: a feeding study. *ISRN Nutrition*. 2013;2013:1–9. doi: 10.5402/2013/626414
- Jiang R, Jacobs DR, Mayer-Davis E, et al. Nut and seed consumption and inflammatory markers in the multi-ethnic study of atherosclerosis. *American Journal of Epidemiology*. 2005;163(3):222–231. doi: 10.1093/aje/kwj033 EDN: IKNXGJ
- Petrova NYu, Oparina SN. The influence of accumulation of lead ions on the reproduction of plants on the example of oilseed sunflower (*Helianthus Annus L.*). *International Research Journal*. 2016;(7-3):19–21. doi: 10.18454/IRJ.2016.49.044 EDN: WEYKNL
- Belikina AV, Obedkova LV, Opejkina TV. The importance of oilseed production for ensuring food security of the country. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal*. 2018;(2):68–70. (In Russ.) EDN: VOXDYX
- Dyachenko YuA, Tsikunib AD. Analytical importance of determination of lipase activity for the express analysis of contamination by heavy metals of sunflower seeds. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2016; (3):218–222. doi: 10.20914/2310-1202-2016-3-218-222 EDN: XWNKVF
- Dyachenko YuA, Tsikunib AD. Lipase activity as factor of high quality and ecological purity of sunflower seeds. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;44(1):118–123. doi: 10.21179/2074-9414-2017-1-118-123
- Reeves PG, Nielsen EJ, O'Brien-Nimens C, Vanderpool RA. Cadmium bioavailability from edible sunflower kernels: a long-term study with men and women volunteers. *Environmental Research*. 2001;87(2):81–91. doi: 10.1006/enrs.2001.4289
- Reeves PG, Chaney RL. Mineral status of female rats affects the absorption and organ distribution of dietary cadmium derived from edible sunflower kernels (*Helianthus annuus L.*). *Environmental Research*. 2001;85(3):215–225. doi: 10.1006/enrs.2000.4236
- Jacobs RM, Lee Jones AO, Fox MRS, Fry BE. Retention of dietary cadmium and the ameliorative effect of Zinc, Copper, and Manganese

- in japanese quail. *The Journal of Nutrition*. 1978;108(1):22–32. doi: 10.1093/jn/108.1.22
15. Stosman KI, Sivac KV. Immunotoxic effect of acute cadmium sulfate exposure in rats. *Medline.ru. Rossijskij Biomedicinskij zhurnal*. 2020;21:166–175. EDN: LBUDOM
 16. Fazlieva AS, Daukaev RA, Karimov DO. Influence of cadmium on population health and methods for preventing its toxic effects. *Occupational health and human ecology*. 2022;(1):220–235. doi: 10.24411/2411-3794-2022-10115 EDN: GLPABT
 17. Ghumman NA, Naseem N, Latif W, Nagi AH. Dose-dependent morphological changes of cadmium chloride on kidney of albino mice. *Biomedica*. 2018;34(4):253–258.
 18. Fazlyeva AS, Usmanova EN, Karimov DO, et al. Accumulation of cadmium in living systems as an environmental pollutant problem. *Medicina truda i ekologija cheloveka*. 2018;(3):47–51. EDN: MGGHBR
 19. Pessôa GS, Lopes Júnior CA, Madrid KC, Arruda MAZ. A quantitative approach for Cd, Cu, Fe and Mn through laser ablation imaging for evaluating the translocation and accumulation of metals in sunflower seeds. *Talanta*. 2017;167:317–324. doi: 10.1016/j.talanta.2017.02.029
 20. Sterckeman T, Thomine S. Mechanisms of Cadmium accumulation in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2020;39(4):322–359. doi: 10.1080/07352689.2020.1792179 EDN: YFIGDU
 21. Vysotskaya EA, Baryshnikova OS. Analysis of mobile forms of heavy metals in soils roadside sunflower agroecosystems. *Agroecoinfo*. 2021;(3):19. EDN: YEEHRR
 22. Troc NM. *Translocation of heavy metals in agricultural landscapes of the Samara region under the influence of natural and anthropogenic factors* [dissertation]. Samara; 2018. Available from: <https://elibrary.ru/jfmuel> (In Russ.) EDN: JFMUOL
 23. Guo S, Ge Y, Na Jom K. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). *Chemistry Central Journal*. 2017;11(1):95. doi: 10.1186/s13065-017-0328-7 EDN: LXTGDL
 24. Shur PZ, Fokin VA, Novosyolov VG. To the issue of assessing the acceptable daily intake of cadmium with food. *Public Health and Life Environment - Ph&Le*. 2015;(12):30–33. EDN: VBEVTD
 25. Fazlieva AS, Daukaev RA, Karimov DO, et al. Public health risks caused by contamination of local food products. *Health Risk Analysis*. 2022;(4):100–108. doi: 10.21668/health.risk/2022.4.09 EDN: XWTGVU

ОБ АВТОРАХ

***Афонкина Светлана Разифовна**, канд. хим. наук;
адрес: Россия, 450106, Уфа, ул. Степана Кувыкина, д. 94;
ORCID: 0000-0003-0445-9057;
eLibrary SPIN: 3521-1536;
e-mail: svetafonk1@mail.ru

Яхина Маргарита Радиковна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-2692-372X;
eLibrary SPIN: 5925-2360;
e-mail: zmr3313@yandex.ru

Усманова Эльза Наилевна;
ORCID: 0000-0002-5455-6472;
eLibrary SPIN: 9088-3293;
e-mail: 4usmanova@gmail.com

Аллаярова Гузель Римовна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-0838-3598;
eLibrary SPIN: 3704-1010;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Астахова Маргарита Ивановна, канд. мед. наук,
доцент;
ORCID: 0000-0002-8750-3852;
eLibrary SPIN: 4405-3181;
e-mail: Astachova_mi@mail.ru

Ларионова Татьяна Кенсариновна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-9754-4685;
eLibrary SPIN: 5305-0589;
e-mail: larionovatk@yandex.ru

Даукаев Рустем Аскарлович, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-0421-4802;
eLibrary SPIN: 4086-7132;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Фазлыева Анна Сергеевна;
ORCID: 0000-0002-0037-6791;
eLibrary SPIN: 6215-4556;
e-mail: nytik-21@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Svetlana R. Afonkina**, Cand. Sci. (Chemistry);
address: 94 Stepan Kuvykin st, Ufa, Russia, 450106;
ORCID: 0000-0003-0445-9057;
eLibrary SPIN: 3521-1536;
e-mail: svetafonk1@mail.ru

Margarita R. Yakhina, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2692-372X;
eLibrary SPIN: 5925-2360;
e-mail: zmr3313@yandex.ru

Elsa N. Usmanova;
ORCID: 0000-0002-5455-6472;
eLibrary SPIN: 9088-3293;
e-mail: 4usmanova@gmail.com

Guzel R. Allayarova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0003-0838-3598;
eLibrary SPIN: 3704-1010;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Margarita I. Astakhova, MD, Cand. Sci. (Medicine),
Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-8750-3852;
eLibrary SPIN: 4405-3181;
e-mail: Astachova_mi@mail.ru

Tatyana K. Larionova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-9754-4685;
eLibrary SPIN: 5305-0589;
e-mail: larionovatk@yandex.ru

Rustem A. Daukaev, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-0421-4802;
eLibrary SPIN: 4086-7132;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Anna S. Fazlieva;
ORCID: 0000-0002-0037-6791;
eLibrary SPIN: 6215-4556;
e-mail: nytik-21@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author