



Гигиеническая оценка связи заболеваемости населения болезнями эндокринной системы, ассоциированной с содержанием металлов – эндокринных дизрапторов в питьевой воде и биосредах

Д.А. Кряжев, Т.В. Боева, В.М. Боев, Д.С. Карманова, Е.Л. Борщук

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России,
ул. Советская, д. 6, г. Оренбург, 460014, Российская Федерация

Резюме

Введение. Помимо канцерогенных и токсических свойств некоторые металлы в малых дозах способны обладать свойствами эндокринных дизрапторов как при самостоятельном, так и при комбинированном поступлении.

Цель исследования: провести гигиеническую оценку связи заболеваемости болезнями эндокринной системы с содержанием металлов-дизрапторов в питьевой воде и биосредах населения (волосы).

Материалы и методы. Кластерный анализ 41 муниципального образования Оренбургской области с выделением территорий наблюдения и сравнения проведен по уровню заболеваемости и содержанию металлов-дизрапторов. Проведена гигиеническая оценка содержания в питьевой воде 10 металлов-дизрапторов (алюминий, железо, марганец, медь, свинец, цинк, хром, никель, ртуть, кадмий); в волосах 8 микроэлементов. Обследован 41 человек, проживающий на территориях наблюдения, 46 – на территориях сравнения.

Результаты. На территории наблюдения выше общая заболеваемость взрослого населения в 1,4 раза; первичная заболеваемость – в 1,7 раза, коэффициенты загрязнения от содержания металлов-дизрапторов – 1,5–2 раза, чем на территории сравнения. Приоритетными металлами-дизрапторами являются свинец, железо, кадмий, никель и алюминий. В группе обследованных, проживающих на территории наблюдения, установлено превышение референтного уровня по следующим микроэлементам: железо, марганец, свинец, хром и кадмий. Первичная заболеваемость болезнями эндокринной системы имеет положительную статистически значимую связь слабой силы с содержанием кадмия, свинца, железа и алюминия. Содержание железа, меди, свинца, кадмия и хрома в волосах обследованных статистически значимо связано с общей заболеваемостью детского и взрослого населения.

Выводы. У группы обследованных, проживающих на территориях с высоким уровнем заболеваемости болезнями эндокринной системы, отмечается повышенное содержание в волосах микроэлементов: железа, меди, свинца, хрома и никеля, относительно территории сравнения. Выявленные положительные корреляционные связи в системе «состояние здоровья – фактор окружающей среды – маркер экспозиции» требуют проведения дальнейших исследований по выявлению закономерностей и причинно-следственных связей.

Ключевые слова: питьевая вода, эндокринный дизраптор, микроэлементы, эндокринные нарушения, тяжелые металлы.

Для цитирования: Кряжев Д.А., Боева Т.В., Боев В.М., Карманова Д.С., Борщук Е.Л. Гигиеническая оценка связи заболеваемости населения болезнями эндокринной системы, ассоциированной с содержанием металлов – эндокринных дизрапторов в питьевой воде и биосредах // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 2. С. 53–62. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-2-53-62

Hygienic Assessment of the Relationship between the Levels of Endocrine-Disrupting Metals in Drinking Water and Biological Materials and the Prevalence of Endocrine Diseases in the Population

Dmitrii A. Kryazhev, Tatyana V. Boeva, Viktor M. Boev, Daria S. Karmanova, Evgeni L. Borshchuk

Orenburg State Medical University, 6 Sovetskaya Street, Orenburg, 460014, Russian Federation

Summary

Background: In addition to carcinogenic and toxic properties, some metals can act as endocrine disruptors in small doses, when taken both separately and in combination.

Objective: To conduct a hygienic assessment of the relationship between the levels of endocrine-disrupting metals in drinking water and human hair and the incidence and prevalence of endocrine diseases.

Materials and methods: We did a cluster analysis of 41 municipalities of the Orenburg Region with the allocation of observation and reference areas based on disease rates and measured levels of disrupting metals. The contents of ten endocrine-disrupting metals (aluminum, iron, manganese, copper, lead, zinc, chromium, nickel, mercury, cadmium) in drinking water and eight trace elements in hair samples were assessed. We examined 41 and 46 people living in the observation and reference areas, respectively.

Results: In the observation area, the prevalence in the adult population was 1.4 times higher, the incidence was 1.7 times higher, and the pollution coefficients due to disrupting metals were 1.5–2 times higher than in the reference area. The priority endocrine-disrupting metals were lead, iron, cadmium, nickel, and aluminum. Hair levels of iron, manganese, lead, chromium, and cadmium in those living in the observation area exceeded the reference ones. Incidence rates of diseases of the endocrine system demonstrated a weak statistically significant correlation with the contents of cadmium, lead, iron, and aluminum. Hair levels of iron, copper, lead, cadmium, and chromium in the examined subjects correlated with the prevalence in children and adults.

Conclusion: The subjects living in the areas with a high incidence of endocrine diseases had higher hair levels of iron, copper, lead, chromium, and nickel compared to those living in the reference area. The positive correlations found in the “health status – environmental factor – marker of exposure” system require further research to identify patterns and cause-and-effect relationships.

Keywords: drinking water, endocrine disruptor, trace elements, endocrine disorders, heavy metals.

Cite as: Kryazhev DA, Boeva TV, Boev VM, Karmanova DS, Borshchuk EL. Hygienic assessment of the relationship between the levels of endocrine-disrupting metals in drinking water and biological materials and the prevalence of endocrine diseases in the population. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(2):53–62. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-2-53-62

Введение. Заболевания эндокринной системы являются важнейшей медико-социальной проблемой. По данным отечественных ученых в Российской Федерации отмечается рост заболеваемости болезнями эндокринной системы как среди взрослого, так и среди детского населения, при этом в Оренбургской области первичная и общая заболеваемость болезнями эндокринной системы выше общероссийского показателя [1–5]. Известно, что эндокринная система является очень чувствительной к воздействию различных факторов среды обитания, в первую очередь химических. Так, по данным ранее проведенных исследований на сегодня науке известны более 800 соединений, обладающих свойствами эндокринных дизрапторов (ЭД) [6, 7]. При этом по данным Всемирной организации здравоохранения в существующий реестр ЭД включены как органические соединения, так и неорганические, включая металлы. Согласно международной классификации (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)) эндокринные дизрапторы можно разделить на три основные группы (1А – дизрапторные свойства доказаны для человека, 1В – дизрапторные свойства доказаны для животных, 2 – доказательства для животных ограничены). При этом к первому классу относятся химические вещества, дизрапторные свойства которых изучены в эпидемиологических исследованиях населения и/или животных, проживающих в определенных условиях окружающей среды, к группе 1В относятся вещества, дизрапторное действие которых показано в экспериментальных исследованиях на животных. Вторая группа включает в себя вещества, вероятно имеющие дизрапторные свойства (предполагаемые дизрапторы). Важнейшей отличительной чертой химических веществ, обладающих дизрапторными свойствами, является отсутствие данных о безопасности соединений, тем не менее большинство из изучаемых дизрапторов входят в «Федеральный реестр потенциально опасных химических и биологических веществ» [6].

Химические вещества, разрушающие эндокринную систему (EDC), определяются как экзогенные агенты, которые нарушают нормальные эндокринные функции, влияя на синтез, секрецию, транспорт, связывание и метаболизм гормонов.

Дизрапторы могут имитировать естественный гормон и вызывать ответные реакции организма (например, неадекватную выработку инсулина), блокировать специфические гормональные рецепторы и, следовательно, соответствующую гормональную активность (например, рецепторы гормона роста) или же стимулировать или ингибировать эндокринные пути, вызывая гиперпродукцию или нехватку специфических гормонов. В результате могут быть затронуты различные общие функции и системы, начиная от размножения, развития и обмена веществ, заканчивая функциями иммунной системы и печени, что приводит к возникновению или усугублению таких патологий, как гормонально-зависимые опухоли, диабет, ожирение или бесплодие [1, 5–7].

Тяжелые металлы, такие как марганец, цинк, никель, свинец и кадмий, были перечислены в отчете ATSDR 2017 г. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) в качестве приоритетных загрязнителей, представляющих опасность для здоровья человека [6, 8, 9]. Некоторые тяжелые металлы (Zn, Cu), являясь эссенциальными, т. к. входят в состав кофакторов многих ферментов, в высоких дозах способны вызывать токсические эффекты [8]. Многие исследования показали, что воздействие невысоких уровней Mn, Zn, Ni, Pb, Cd, Cr, Cu, As, Al может привести к нарушениям работы эндокринной системы [9–15]. Имеются работы, доказывающие роль Fe в развитии эндокринной дисфункции жировой ткани и инсулинорезистентности [16–19].

Очень часто металлы обладают антагонистическими свойствами, чем обосновывается изучение не только каузальной зависимости, но и анализа структурно-динамического биометаболического распределения. Убедительно доказано, что превышение гигиенических нормативов содержания эндокринных деструкторов в факторах окружающей среды приводит к эндокринным нарушениям у детей и взрослых [1, 4, 5]. Вместе с тем ряд работ подтверждает отсутствие пороговости действия эндокринных деструкторов, когда к метаболическим сдвигам и эндокринным нарушениям приводят малые (подпороговые дозы) дизрапторов [5, 20, 21].

Важным остается вопрос по гигиенической оценке содержания дизрапторов в окружающей среде с оценкой маркеров экспозиции в организме, приводящих к эндокринным нарушениям.

В связи с этим особо актуальной остается задача по установлению и оценке причинно-следственных связей между наличием маркеров экспозиции металлов в организме человека и развитием эндокринной патологии для обоснования их референтного уровня.

Цель исследования: провести гигиеническую оценку связи заболеваемости болезнями эндокринной системы с содержанием металлов-дизрапторов в питьевой воде и биосредах населения (волосы).

Материалы и методы. Объектом исследования явились городские и сельские муниципальные образования Оренбургской области, заболеваемость населения, питьевая вода централизованной системы водоснабжения. Предметом исследования явились статистические данные заболеваемости населения (E00–E90 – Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена), результаты исследования волос на содержание микроэлементов, пробы питьевой воды, а также закономерности взаимодействия металлов-дизрапторов в питьевой воде и содержания микроэлементов в биосредах (волосы) населения на территории с высоким уровнем заболеваемости болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушения обмена веществ.

Выбор и обоснование территорий наблюдения и сравнения Оренбургской области проведены на основании кластерного анализа с выделением четырех кластеров по уровню заболеваемости, ассоциированной с экспозицией металлами-дизрапторами, поступающими с питьевой водой. Для дальнейшего

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-2-53-62>
Original Research Article

исследования было выделено 2 принципиально отличающихся кластера по уровню заболеваемости и содержанию металлов-дизрапторов.

Ретроспективный структурный эпидемиологический анализ первичной и общей заболеваемости населения (все население, дети 0–14 лет, подростки 15–17 лет, взрослые 18 лет и старше) по классам E00–E90 – Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ в соответствии с Международной статистической классификацией болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) проводился по официальным статистическим сборникам «Заболеваемость населения в Оренбургской области» ГБУЗ «Медицинский информационно-аналитический центр» в двух модельных кластерах за 2005–2020 гг.

Гигиеническая оценка питьевой воды централизованной системы водоснабжения проведена по данным государственных докладов «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области» за 2005–2020 гг., анализа проб воды в рамках социально-гигиенического мониторинга, а также собственных исследований. В питьевой воде проведен анализ 10 металлов, обладающих деструктивным действием на эндокринную систему (эндокринные дизрапторы (деструкторы)) (алюминий, железо, марганец, медь, свинец, цинк, хром, никель, ртуть, кадмий). Суммарный коэффициент загрязнения питьевой воды металлами-дизрапторами определялся как сумма отношений концентрации вещества к предельно допустимой концентрации. Обоснование металлов в воде в качестве приоритетных проводили по значению долевого вклада в суммарное загрязнение питьевой воды металлами-дизрапторами.

У населения, проживающего в муниципальных образованиях Оренбургской области, входящих в состав первого и третьего кластеров, проведена оценка маркеров экспозиции (микроэлементов) в биосредах (волосы), обусловленных поступлением металлов-дизрапторов с питьевой водой. Оценка содержания микроэлементов (маркеров экспозиции) проведена методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (MP № 4096–86 «Методические рекомендации по спектрохимическому определению тяжелых металлов в объектах окружающей среды, полимерах и биологическом материале», МУК 4.1.463–4.1.779–99 «Определение химических соединений в биологических средах»). Всего обследовано 87 человек, 41 из которых проживает на территориях наблюдения и 46 – на территориях сравнения. Согласно К.А. Отдельновой, объем выборки соответствует пилотному исследованию (ориентировочное знакомство) и полученные данные позволят провести расширенные углубленные исследования по изучению установленных результатами работы закономерностей. В волосах населения проведен анализ содержания 8 микроэлементов (маркеров экспозиции): железо, марганец, медь, свинец, цинк, хром, никель, кадмий. Критериями включения в группу обследования явились: проживание на исследуемой территории в течение 5 и более лет, возраст старше 20 лет, употребление

питьевой воды из централизованных источников водоснабжения. Критериями досрочного исключения явились: обострение у испытуемых хронических воспалительных процессов; проживание на момент обследования на территории менее 5 лет; применение витаминных препаратов, наличие окрашенных волос. Обследование населения проведено с учетом этических правил и принципов, закрепленных Хельсинкской декларацией (1975 г.) и ГОСТ-Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая практика» (ICH E6 GCP). Концепция и дизайн исследования прошли экспертизу локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «ОрГМУ» Минздрава России (протокол № 282 от 11.10.2021). Исследование проведено в период с 01.02.2022 по 01.09.2022. Участники исследования осведомлены о цели проведения обследования, получено добровольное письменное информированное согласие, а также разрешение на публикацию деперсонализированных данных. Уровень микроэлементов в волосах сравнивался с референтными значениями [22].

Математическая и статистическая обработка данных проведена с использованием параметрических и непараметрических методов. Кластерный анализ проведен методом иерархической многомерной многофакторной классификации по способу Варда с последующим включением на основе признаков кластеризации в матрицу исследования, которая включала 41 наблюдение (муниципальные образования Оренбургской области) и 18 переменных (содержание 10 металлов в питьевой воде, показатели общей (4 переменные) и первичной (4 переменные) среднесуточной заболеваемости детского и взрослого населения). В научном исследовании для кластеризации в качестве меры сходства объектов использован алгоритм «Евклидово расстояние».

Определение силы и направления связи между содержанием дизрапторов в питьевой воде и микроэлементов в биологических средах населения проведено путем вычисления коэффициента ранговой корреляции Спирмена с отражением парных корреляционных зависимостей при условии $R > 0,1$ на уровне $p < 0,05$. В случае если количественные признаки соответствовали закону нормального распределения (критерий хи-квадрат), описание признаков проводили в виде средней (M) и стандартной ошибки среднего (m), с оценкой статистической значимости различий независимых групп по параметрическому t -критерию Стьюдента. Когда признаки отличались от нормального распределения, переменные представлялись в виде медианы (Me) и квартилей (Q_{25-75}) с оценкой статистической значимости различий независимых групп по непараметрическому критерию Манна – Уитни. Различия между показателями считали статистически значимыми при значении для $p \leq 0,05$ и вычисляли с помощью Fisher's exact test.

Ограничения исследования. Ограничения данного исследования в первую очередь связаны с тем, что проведен анализ и исследование металлов-дизрапторов только в питьевой воде, без учета комплексного поступления таковых из других сред (атмосферный воздух, продукты питания,

почва). Кроме того, не оценен вклад других химических веществ, обладающих деструктивными свойствами на эндокринную систему. Ограничения данного исследования связаны с тем, что анализировались показатели качества питьевой воды распределительной сети без учета доли населения, потребляющего в питьевых целях фасованную воду, а также населения, использующего индивидуальные фильтры, как правило очищающие воду от металлов, а также чувствительностью методов обнаружения металлов в воде.

Результаты. Кластерный анализ позволил разделить 41 муниципальное образование области на 4 крупных кластера. При этом первый кластер характеризуется высоким содержанием металлов-дизрапторов в питьевой воде и высоким уровнем первичной и общей заболеваемости

болезнями эндокринной системы и включает: Новоорский, Курманаевский и Кувандыкский районы. Для третьего кластера установлена самая низкая заболеваемость болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушениями обмена веществ (Е00–Е90) и содержанием дизрапторов в питьевой воде, в него включены 12 муниципальных образований (Асекеевский, Домбаровский, Кваркенский, Красногвардейский, Переволоцкий, Пономаревский, Светлинский, Соль-Илецкий, Сорочинский, Ташлинский, Тоцкий районы).

Как видно из рис. 2, первый кластер характеризуется самым высоким уровнем первичной заболеваемости всего населения (17,8 случая на 100 тыс. нас.) и общей заболеваемости (97,7 случая на 100 тыс. нас.). В то же время третий кластер характеризуется самыми низкими показателями первичной (10,7 случая на 100 тыс. нас.) и общей заболеваемости всего населения (68,8 случая на 100 тыс. нас.). Таким образом, установлено, что для первого кластера заболеваемость болезнями эндокринной системы выше как относительно третьего кластера, так и относительно средне-областных значений. В результате проведенного анализа выделены территории наблюдения (1-й кластер) и территории сравнения (3-й кластер). Установлено, что на территории наблюдения общая заболеваемость взрослого населения в 1,4 раза выше; первичная заболеваемость в 1,7 раза выше, чем на территории сравнения.

Особый интерес представляет гигиеническая оценка показателей первичной и общей заболеваемости различных возрастных групп, а также содержания металлов-дизрапторов, поступающих с питьевой водой.

На территориях наблюдения общая заболеваемость болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушения обмена веществ среди взрослого населения выше в 1,3 раза и в 3 раза – среди детского (0–17 лет), при этом в возрастной группе 0–14 лет в 2 раза выше (48,8 [42,6; 55,6] на 100 тыс. нас.), а возрастной группе 15–17 лет – в 7 раз (453,1 [400,7; 455,9] на 100 тыс. нас.) (табл. 1).

Первичная заболеваемость детей в возрастной группе 0–14 лет на территории наблюдения выше в 2,5 раза, в возрастной группе 15–17 лет – почти в 8 раз. Таким образом установлено, что среди детского населения как общая, так и первичная заболеваемость болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушениями обмена веществ значительно и достоверно выше на территориях, относящихся к первому кластеру.

Превышения концентраций металлов-дизрапторов в питьевой воде на изученных территориях отсутствует, тем не менее при гигиенической оценке питьевой воды установлено, что на территориях наблюдения коэффициенты загрязнения от содержания металлов-дизрапторов 1,5–2 раза выше, чем на территории сравнения (табл. 2). При этом установлено, что приоритетными металлами-дизрапторами на территории с высоким уровнем заболеваемости являются

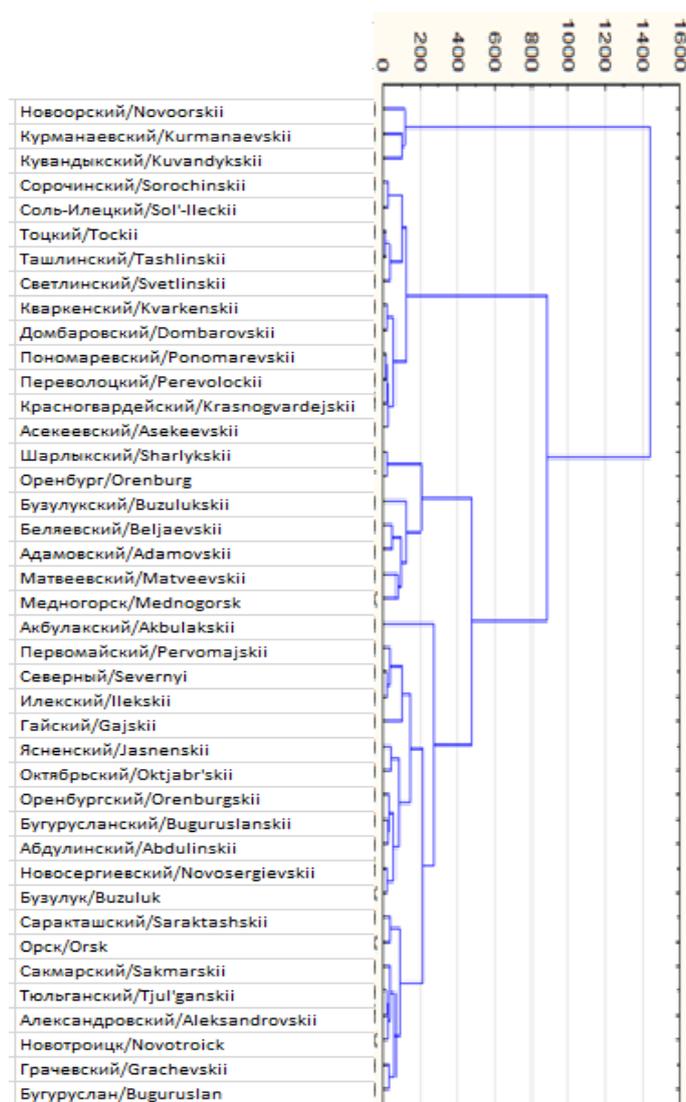


Рис. 1. Кластеры территорий Оренбургской области по уровню первичной и общей заболеваемости болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушения обмена веществ, ассоциированной с экспозицией металлами-дизрапторами питьевой воды

Fig. 1. Clusters of territories of the Orenburg Region by incidence and prevalence rates of diseases of the endocrine system, nutritional and metabolic disorders related to exposure to endocrine-disrupting metals in drinking water

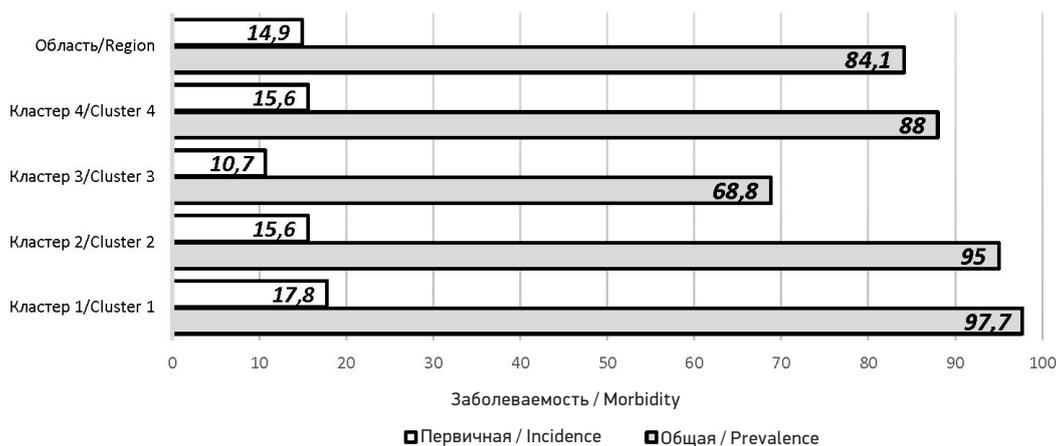


Рис. 2. Первичная и общая заболеваемость всего населения болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушениями обмена веществ в выделенных кластерах (случаев на 100 тыс. человек населения)

Fig. 2. Incidence and prevalence rates of diseases of the endocrine system, nutritional and metabolic disorders in the general population by clusters (per 100 thousand population)

свинец и железо (по 21 %), кадмий, никель и алюминий (по 13 %), которые определяют основной вклад (81 %) в суммарное загрязнение питьевой воды металлами-дизрапторами. Для территории сравнения приоритетными металлами-дизрапторами, содержащимися в питьевой воде, явились железо (22 %), никель (17 %), свинец (15 %).

Оценка маркеров экспозиции в биосредах (волосы) обследованной группы населения показала достоверные отличия в концентрации микроэлементов: железо, медь, марганец, никель, свинец, цинк, хром. При этом установлено, что в группе обследованного населения отмечается дефицит цинка, который более выражен на территории наблюдения. Так, у населения, проживающего на территории с высоким уровнем заболеваемости болезнями эндокринной системы, установлено превышение референтного уровня по следующим микроэлементам: железо, марганец, свинец, хром и кадмий (табл. 3).

У обследованной группы, проживающей на территории наблюдения и сравнения, установлен статистически значимый ($p \leq 0,05$) дефицит цинка.

Стоит отметить, что корреляционный анализ показал достоверную положительную связь слабой силы между показателями общей заболеваемости детского населения возрастной группы 0–17 лет с содержанием металлов-дизрапторов в питьевой воде (алюминия ($R = 0,21, p \leq 0,05$), железа ($R = 0,18, p \leq 0,05$), свинца ($R = 0,34, p \leq 0,05$), никеля ($R = 0,12, p \leq 0,05$), и кадмия ($R = 0,14, p \leq 0,05$)).

Первичная заболеваемость болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушениями обмена веществ имеет положительную статистически значимую связь слабой силы с содержанием кадмия ($R = 0,14, p \leq 0,05$), свинца ($R = 0,19, p \leq 0,05$), железа ($R = 0,34, p \leq 0,05$) и алюминия ($R = 0,24, p \leq 0,05$). Установлено, что содержание железа, меди, свинца, кадмия и хрома в биосредах (волосы) обследованных групп населения статистически значимо связано

Таблица 1. Заболеваемость болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушения обмена веществ (случаев на 100 тыс. населения (медиана [Q 25 %; 75 %]))

Table 1. Incidence and prevalence rates of diseases of the endocrine system, nutritional and metabolic disorders (per 100 thousand population (median [Q 25 %; 75 %]))

Общая заболеваемость / Prevalence		
Территория / Territory	Взрослое / Adults	Детское / Children
Территория наблюдения / Observation area	100,1* [74,0; 136,4]	94,4* [84,2; 103,5]
Территория сравнения / Reference area	78,8 [56,5; 86,8]	31,1 [21,1; 38,9]
Область / Region	89,8 [72,6; 105,8]	54,6 [38,9; 70,8]
Первичная заболеваемость / Incidence		
Территория / Territory	Взрослое / Adults	Детское / Children
Территория наблюдения / Observation area	13 [11,7; 16,4]	38,7* [26,8; 39,0]
Территория сравнения / Reference area	10,9 [8,7; 15,6]	9,5 [6,6; 15,0]
Территория сравнения / Reference area	14 [10,9; 16,5]	15,3 [10,5; 21,8]

Примечание: * p – достоверность различия с территорией сравнения, $p \leq 0,05$.

Note: * p is the level of statistical significance, $p \leq 0.05$.

Таблица 2. Заболеваемость болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушения обмена веществ детского населения 0–17 лет (случаев на 100 тыс. населения (медиана [Q 25 %; 75 %]))**Table 2. Incidence and prevalence rates of diseases of the endocrine system, nutritional and metabolic disorders in the pediatric population (per 100 thousand population (median [Q 25 %; 75 %]))**

Общая заболеваемость / Prevalence		
Территория / Territory	0–14 лет / years	15–17 лет / years
Территория наблюдения / Observation area	48,8* [42,6; 55,6]	453,1* [400,7; 455,9]
Территория сравнения / Reference area	23,9 [16,7; 33,3]	61,9 [53,8; 72,7]
Область / Region	42,6 [31,5; 52,3]	123,1 [79,8; 157,6]
Первичная заболеваемость / Incidence		
Территория / Territory	0–14 лет / years	15–17 лет / years
Территория наблюдения / Observation area	21,3* [20,2;23,5]	159,9* [71,0; 165,8]
Территория сравнения / Reference area	8,1 [4,6; 12,8]	21,5 [9,9; 24,5]
Территория сравнения / Reference area	12,9 [8,2; 19,5]	29,5 [19,4; 49,8]

Примечание: **p* – достоверность различия с территорией сравнения, *p* ≤ 0,05.

Note: **p* is the level of statistical significance, *p* ≤ 0.05.

Таблица 3. Содержание металлов в питьевой воде (доля ПДК, *M* ± *m*)**Table 3. Levels of metals in drinking water (% of maximum allowable concentrations, *M* ± *m*)**

Металлы / Metals	Территория наблюдения / Observation area	Территория сравнения / Reference area	Область / Region
Алюминий / Aluminum	0,22 ± 0,03*	0,09 ± 0,001	0,07 ± 0,001
Железо / Iron	0,35 ± 0,04*	0,18 ± 0,02	0,17 ± 0,05
Марганец / Manganese	0,18 ± 0,09*	0,09 ± 0,001	0,08 ± 0,001
Медь / Copper	0,04 ± 0,001	0,02 ± 0,002	0,02 ± 0,001
Свинец / Lead	0,34 ± 0,08*	0,12 ± 0,01	0,18 ± 0,001
Цинк / Zinc	0,07 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,003
Хром / Chromium	0,01 ± 0,001	0,09 ± 0,001	0,1 ± 0,001
Никель / Nickel	0,22 ± 0,07	0,14 ± 0,02	0,22 ± 0,01
Ртуть / Mercury	0	0,06 ± 0,004	0,05 ± 0,004
Кадмий / Cadmium	0,22 ± 0,04*	0,02 ± 0,001	0
Суммарный коэффициент (Ксумм) / Total coefficient (C _{total})	1,65 ± 0,2*	0,82 ± 0,11	0,9 ± 0,08

Примечание: **p* – уровень статистической значимости, *p* ≤ 0,05.

Note: **p* is the level of statistical significance, *p* ≤ 0.05.

с общей заболеваемостью детского населения (0–17 лет) и взрослого (старше 18 лет). Также первичная заболеваемость статистически значимо связана с содержанием железа, никеля, хрома, свинца, никеля и меди. Стоит отметить, первичная заболеваемость взрослого населения чаще имеет достоверную связь с металлами-дизрапторами, в то время как среди детского населения общая заболеваемость имеет большее количество достоверных связей с концентрацией металлов-дизрапторов в питьевой воде.

Таким образом, выявленные закономерности подтверждают наличие связей уровня заболеваемости эндокринной патологией с содержанием в биосредах (волосах) микроэлементов, обладающих дизрапторными свойствами. Проведенное исследование показывает необходимость детального изучения системы связей в условиях многокомпонентного воздействия металлов-дизрапторов и изучение последствий воздействия малых доз ксенобиотиков.

Обсуждение. Ранее проведенные исследования убедительно доказывают негативное влияние

низкоуровневого воздействия дизрапторов на эндокринную систему человека [10, 22, 23]. Вместе с тем проведенное исследование подтверждает, что даже при отсутствии превышения предельно допустимых концентраций эндокринных дизрапторов в питьевой воде [24] существует статистически значимая связь как с заболеваемостью, так и содержанием микроэлементов в волосах [25, 26]. Полученные результаты принципиально соответствуют гипотезе исследования, тем не менее в работе проведена гигиеническая оценка питьевой воды без учета употребления ее населением, а также без учета комплексного воздействия изученных дизрапторов, поступающих из других сред (атмосферный воздух, продукты питания, почва) [5, 27], что обуславливает перспективы дальнейшего изучения полученных связей в тщательно спланированных научных исследованиях.

Выводы

1. По результатам кластерного анализа установлены территории с самым высоким уровнем

Таблица 4. Содержание микроэлементов в биосредах (волосах) у населения (мг/кг, $M \pm m$)Table 4. Hair levels of trace elements in the population (mg/kg, $M \pm m$)

Элемент / Element	Референтные значения / Reference values (Q25–Q75)	Территория наблюдения / Observation area	Территория сравнения / Comparison area
Fe	11–24	36,65 ± 1,02*	23,96 ± 1,53
Mn	0,32–1,13	1,52 ± 0,09	1,10 ± 0,04
Cu	9–14	12,63 ± 0,12*	9,65 ± 0,18
Pb	0,38–1,40	2,63 ± 0,03*	1,41 ± 0,05
Zn	155–206	60,68 ± 2,5*	92,89 ± 3,8
Cr	0,32–0,96	1,23 ± 0,06*	0,62 ± 0,04
Ni	0,14–0,53	0,42 ± 0,01*	0,18 ± 0,03
Cd	0,02–0,12	0,13 ± 0,005	0,10 ± 0,002

Примечание: * p – уровень статистической значимости, $p \leq 0,05$.

Note: * p is the level of statistical significance, $p \leq 0,05$.

Таблица 5. Корреляционные связи маркеров экспозиции (микроэлементов в биосредах) у населения с уровнем заболеваемости (Спирмена R)Table 5. Correlations between the biomarkers of exposure (hair levels of trace elements), incidence and prevalence rates in the population (Spearman's R)

Вещества / Substances	Общая заболеваемость / Первичная заболеваемость / Prevalence / Incidence	
	Взрослое / Adults	Детское / Children
Алюминий / Aluminum	$R = 0,12 / R = 0,24^*$	$R = 0,21^* / R = 0,12$
Железо / Iron	$R = 0,09 / R = 0,34^*$	$R = 0,18^* / R = 0,11$
Марганец / Manganese	$R = 0,13 / R = 0,17$	$R = 0,14 / R = 0,09$
Медь / Copper	$R = 0,03 / R = 0,11$	$R = 0,10 / R = 0,18$
Свинец / Lead	$R = 0,11 / R = 0,14^*$	$R = 0,34^* / R = 0,18$
Цинк / Zinc	$R = -0,10 / R = -0,07^*$	$R = -0,08 / R = -0,19$
Хром / Chromium	$R = 0,14 / R = 0,25^*$	$R = 0,12 / R = 0,11$
Никель / Nickel	$R = 0,15 / R = 0,16$	$R = 0,12^* / R = 0,16$
Ртуть / Mercury	$R = 0,07 / R = 0,19^*$	$R = 0,14^* / R = 0,11$

Примечание: * p – уровень статистической значимости, $p \leq 0,05$.

Note: * p is the level of statistical significance, $p \leq 0,05$.

заболеваемости болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушения обмена, которые характеризуются наиболее высоким содержанием металлов-дизрапторов в питьевой воде.

2. Приоритетными металлами-дизрапторами в питьевой воде на территории с высоким уровнем заболеваемости являются свинец и железо, кадмий, никель и алюминий.

3. Определены статистически значимые положительные корреляционные связи слабой силы между уровнем заболеваемости и содержанием металлов-дизрапторов в питьевой воде и содержанием соответствующих микроэлементов в волосах.

4. У группы обследованных, проживающих на территориях с высоким уровнем заболеваемости болезнями эндокринной системы, отмечается повышенное содержание в биосредах (волосах) металлов, обладающих дизрапторными свойствами, а именно железа, меди, свинца, хрома и никеля, как относительно проживающих на контрольной территории, так и относительно референтных значений.

5. Выявленные положительные корреляционные связи в системе «состояние здоровья – фактор окружающей среды – маркер экспозиции» требуют проведения дальнейших исследований по выявлению закономерностей между содержанием металлов-дизрапторов в питьевой воде и заболеваемостью болезнями эндокринной системы.

Полученные результаты расширяют представления о влиянии малых доз дизрапторов на здоровье населения и создают необходимость проведения дальнейших углубленных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузнецов Е.В., Жукова Л.А., Пахомов Е.А., Гуламов А.А. Эндокринные заболевания как медико-социальная проблема современности // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. С. 62–62.
- Гаджикеримов Г.Э., Аль-Зерр К.М. Основные тенденции заболеваемости детей от рождения до 14 лет в Российской Федерации // Российский педиатрический журнал. 2020. Т. 23. № 6. С. 396–396.
- Бантьева М.Н., Маношкина Е.М., Кузнецова В.П. Тенденции заболеваемости и хронизации патологии у юношей в Российской Федерации // Клиническая медицина и фармакология. 2019. Т. 5. № 3. С. 38–44.
- Корнева К.Г. и др. Факторы риска манифестации сахарного диабета типа 1 у детей в регионах Поволжья // Эндокринология: Новости. Мнения. Обучение. 2019. № 4 (29). С. 7–14.
- Лужецкий К.П., Цинкер М.Ю., Вековщина С.А. Структурно-динамический анализ эндокринной патологии на территориях Российской Федерации с различным уровнем и спектром загрязнения среды обитания // Здоровье населения и среда обитания. 2017. № 5 (290). С. 7–11.
- Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В., Замкова И.В., Дорофеева Е.В., Арасланов И.Н., Аниськова Ю.Ю.,

- Проскурина А.С., Рабикова Д.Н. Международные подходы к оценке опасности и классификации эндокринных разрушителей // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 12. С. 1372-1376. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1372-1376
7. Denuzière A, Gherzi-Egea JF. Cerebral concentration and toxicity of endocrine disrupting chemicals: The implication of blood-brain interfaces. *NeuroToxicology*. 2022;91:100-118. doi: 10.1016/j.neuro.2022.04.004
 8. Rana SVS. Perspectives in endocrine toxicity of heavy metals – A review. *Biol Trace Elem Res*. 2014;160(1):1-14. doi: 10.1007/s12011-014-0023-7
 9. World Health Organization. *Identification of Risks from Exposure to Endocrine-Disrupting Chemicals at the Country Level*. WHO Regional Office for Europe; 2014. Accessed October 3, 2023. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344588/9789289050142-eng.pdf?sequence=1>
 10. Лужецкий К.П. Методические подходы к управлению риском развития у детей эндокринных заболеваний, ассоциированных с воздействием внешнесредовых факторов селитебных территорий // Анализ риска здоровью. 2017. № 2. С. 47–55.
 11. *Overview Report I: A Compilation of Lists of Chemicals Recognised as Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) or Suggested as Potential EDCs*. International Panel on Chemical Pollution; 2016. Accessed October 3, 2023. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31759/IPCP.docx>
 12. Karthikeyan BS, Ravichandran J, Mohanraj K, Vivek-Ananth RP, Samal A. A curated knowledgebase on endocrine disrupting chemicals and their biological systems-level perturbations. *Sci Total Environ*. 2019;692:281-296. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.225
 13. Byrne C, Divekar SD, Storch GB, Parodi DA, Martin MB. Metals and breast cancer. *J Mammary Gland Biol Neoplasia*. 2013;(18):63-73. doi: 10.1007/s10911-013-9273-9
 14. Aquino NB, Seigny MB, Sabangan J, Louie MC. The role of cadmium and nickel in estrogen receptor signaling and breast cancer: Metalloestrogens or not? *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*. 2012;30(3):189-224. doi: 10.1080/10590501.2012.705159
 15. Karthikeyan BS, Ravichandran J, Aparna SR, Samal A. DEDuCT 2.0: An updated knowledgebase and an exploration of the current regulations and guidelines from the perspective of endocrine disrupting chemicals. *Chemosphere*. 2021;267:128898. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128898
 16. Darbre PD. The history of endocrine-disrupting chemicals. *Curr Opin Endocr Metab Res*. 2019;7:26-33. doi: 10.1016/j.coemr.2019.06.007
 17. Fuhrman VF, Tal A, Arnon S. Why endocrine disrupting chemicals (EDCs) challenge traditional risk assessment and how to respond. *J Hazard Mater*. 2015;286:589-611. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.12.012
 18. Тиньков А.А., Попова Е.В., Никоноров А.А. Влияние сульфата железа на эндокринную дисфункцию жировой ткани крыс линии Wistar // Казанский мед.ж. 2013. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sulfata-zheleza-na-endokrinnuyu-disfunktsiyu-zhirovoy-tkani-kryis-linii-wistar> (дата обращения: 03.10.2023).
 19. Лебедева Е.Н., Красиков С.И., Борщук Е.Л., Карманова Д.С., Чеснокова Л.А., Исаков А.Ж. Влияние Fe 2+ на адипокиновую регуляцию и выраженность окислительного стресса // Гигиена и санитария. 2015. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-fe-2-na-adipokinovuyu-regulyatsiyu-i-vyrazhennost-okislitel'nogo-stressa> (дата обращения: 03.10.2023).
 20. Atmakusuma TD, Hasibuan FD, Purnamasari D. The correlation between iron overload and endocrine function in adult transfusion-dependent beta-thalassemia patients with growth retardation. *J Blood Med*. 2021;12:749-753. doi: 10.2147/JBM.S325096
 21. Timokhina EP, Nazimova SV, Tsomartova DA, Yaglova NV, Obernikhin SS, Yaglov VV. Morphological and cytophysiological changes in the adult rat adrenal medulla after prenatal and postnatal exposure to endocrine disrupting DDT. *Modern Technologies in Medicine*. 2020;12(2):50-55. doi: 10.17691/stm2020.12.2.06
 22. Элементный статус населения России. Ч. 4. Элементный статус населения Приволжского и Уральского федеральных округов / Л.И. Афтанас и др.; под ред. А.В. Скального, М.Ф. Киселева. СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2013. 576 с.
 23. Хамидулина Х.Х., Дорофеева Е.В. Эндокринные разрушители – проблема населения Земли в 21 веке // Токсикологический вестник. 2013. Т. 219. № 2. С. 50–54
 24. Gonsioroski A, Mourikes VE, Flaws JA. Endocrine disruptors in water and their effects on the reproductive system. *Int J Mol Sci*. 2020;21(6):1929. doi: 10.3390/ijms21061929
 25. Gore AC, Chappell VA, Fenton SE, et al. EDC-2: The Endocrine Society's second scientific statement on endocrine-disrupting chemicals. *Endocr Rev*. 2015;36(6):E1-E150. doi: 10.1210/er.2015-1010
 26. Vandenberg LN, Colborn T, Hayes TB, et al. Hormones and endocrine-disrupting chemicals: Low-dose effects and nonmonotonic dose responses. *Endocr Rev*. 2012;33(3):378-455. doi: 10.1210/er.2011-1050
 27. Сеницына О.О., Рахманин Ю.А., Жолдакова З.И., Аксенова М.Г., Кириллов А.В., Бурд С.Г., Илюкова И.И. Эпидемиологические, токсикологические и молекулярно-генетические аспекты разрушителей эндокринной системы в проблеме химической безопасности // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 3. С. 197-203. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-3-197-203

REFERENCES

1. Kuznetsov EV, Zhukova LA, Pahomova EA, Gulamov AA. Endocrine diseases as medical-social problem of today. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*. 2017;(4):62. (In Russ.)
2. Gadzhikerimov GE, Al-Zrer KM. The main trends in the incidence of children from birth to 14 years old in the Russian Federation. *Rossiyskiy Pediatricheskii Zhurnal*. 2020;23(6):396. (In Russ.)
3. Banteva MN, Manoshkina EM, Kuznetsova VP. Trends of morbidity and chronization index in female teenagers in the Russian Federation. *Klinicheskaya Meditsina i Farmakologiya*. 2019;5(3):38-44. (In Russ.) doi: 10.12737/article_5db94d5fd3e4f8.93824740
4. Korneva KG, Strongin LG, Almazova AM, et al. Risk factors for the manifestation of type 1 diabetes mellitus in children in the Volga region. *Endokrinologiya. Novosti. Mneniya. Obuchenie*. 2019;8(4):7-14. (In Russ.) doi: 10.24411/2304-9529-2019-14001
5. Luzhetsky KP, Tsinker MYu, Vekovshina SA. Structural and dynamic analysis of endocrine pathology in the Russian Federation with different levels of spectrum and environmental pollution. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2017;(5(290)):7-11. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2017-290-5-7-11
6. Khamidulina KhKh, Tarasova EV, Zamkova IV, et al. International approaches to hazard assessment and classification of endocrine disruptors. *Gigiena i Sanitariya*.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-2-53-62>
Original Research Article

- 2021;100(12):1372-1376. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1372-1376
7. Denuzière A, Ghersi-Egea JF. Cerebral concentration and toxicity of endocrine disrupting chemicals: The implication of blood-brain interfaces. *NeuroToxicology*. 2022;91:100-118. doi: 10.1016/j.neuro.2022.04.004
 8. Rana SVS. Perspectives in endocrine toxicity of heavy metals – A review. *Biol Trace Elem Res*. 2014;160(1):1-14. doi: 10.1007/s12011-014-0023-7
 9. World Health Organization. *Identification of Risks from Exposure to Endocrine-Disrupting Chemicals at the Country Level*. WHO Regional Office for Europe; 2014. Accessed October 3, 2023. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344588/9789289050142-eng.pdf?sequence=1>
 10. Luzhetskiy KP. Methodical approaches to managing risks for endocrine diseases evolution in children related to impacts of environmental factors occurring on areas aimed for development. *Health Risk Analysis*. 2017;(2):45-53. doi: 10.21668/health.risk/2017.2.05.eng
 11. *Overview Report I: A Compilation of Lists of Chemicals Recognised as Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) or Suggested as Potential EDCs*. International Panel on Chemical Pollution; 2016. Accessed October 3, 2023. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31759/IPCP.docx>
 12. Karthikeyan BS, Ravichandran J, Mohanraj K, Vivek-Ananth RP, Samal A. A curated knowledgebase on endocrine disrupting chemicals and their biological systems-level perturbations. *Sci Total Environ*. 2019;692:281-296. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.225
 13. Byrne C, Divekar SD, Storchan GB, Parodi DA, Martin MB. Metals and breast cancer. *J Mammary Gland Biol Neoplasia*. 2013;(18):63-73. doi: 10.1007/s10911-013-9273-9
 14. Aquino NB, Sevigny MB, Sabangan J, Louie MC. The role of cadmium and nickel in estrogen receptor signaling and breast cancer: Metalloestrogens or not? *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*. 2012;30(3):189-224. doi: 10.1080/10590501.2012.705159
 15. Karthikeyan BS, Ravichandran J, Aparna SR, Samal A. DEDuCT 2.0: An updated knowledgebase and an exploration of the current regulations and guidelines from the perspective of endocrine disrupting chemicals. *Chemosphere*. 2021;267:128898. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128898
 16. Darbre PD. The history of endocrine-disrupting chemicals. *Curr Opin Endocr Metab Res*. 2019;7:26-33. doi: 10.1016/j.coemr.2019.06.007
 17. Fuhrman VF, Tal A, Arnon S. Why endocrine disrupting chemicals (EDCs) challenge traditional risk assessment and how to respond. *J Hazard Mater*. 2015;286:589-611. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.12.012
 18. Tinkov AA, Popova EV, Nikonov AA. Influence of iron sulfate on adipose tissue endocrine dysfunction in Wistar rats. *Kazanskiy Meditsinskiy Zhurnal*. 2013;94(5):760-763. (In Russ.) Accessed February 17, 2025. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sulfata-zheleza-na-endokrinnuyu-disfunktsiyu-zhivovoy-tkani-krysi-linii-wistar>
 19. Lebedeva EN, Krasikov SI, Borshchuk EL, Karmanova DS, Chesnokova LA, Iskakov AG. Effects of Fe²⁺ on the adipokine regulation and extent of oxidative stress. *Gigiena i Sanitariya*. 2015;94(4):48-51. (In Russ.) Accessed October 3, 2023. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-fe-2-na-adipokinovuyu-regulyatsiyu-i-vyrashennost-okislitel'nogo-stressa>
 20. Atmakusuma TD, Hasibuan FD, Purnamasari D. The correlation between iron overload and endocrine function in adult transfusion-dependent beta-thalassemia patients with growth retardation. *J Blood Med*. 2021;12:749-753. doi: 10.2147/JBM.S325096
 21. Timokhina EP, Nazimova SV, Tsomartova DA, Yaglova NV, Obernikhin SS, Yaglov VV. Morphological and cytophysiological changes in the adult rat adrenal medulla after prenatal and postnatal exposure to endocrine disrupting DDT. *Modern Technologies in Medicine*. 2020;12(2):50-55. doi: 10.17691/stm2020.12.2.06
 22. Skalny AV, Kiselev MF, eds. *Elemental Status of the Russian Population. Part 4. Elemental Status of the Population of the Volga and Ural Federal Districts.* St. Petersburg: Medkniga ELBI-SPb; 2013. (In Russ.)
 23. Khamidulina KhKh, Dorofeeva YeV. Endocrine disruptors. Present status of the problem. *Toxikologicheskii Vestnik*. 2013;(2(119)):51-54. (In Russ.)
 24. Gonsioroski A, Mourikes VE, Flaws JA. Endocrine disruptors in water and their effects on the reproductive system. *Int J Mol Sci*. 2020;21(6):1929. doi: 10.3390/ijms21061929
 25. Gore AC, Chappell VA, Fenton SE, et al. EDC-2: The Endocrine Society's second scientific statement on endocrine-disrupting chemicals. *Endocr Rev*. 2015;36(6):E1-E150. doi: 10.1210/er.2015-1010
 26. Vandenberg LN, Colborn T, Hayes TB, et al. Hormones and endocrine-disrupting chemicals: Low-dose effects and nonmonotonic dose responses. *Endocr Rev*. 2012;33(3):378-455. doi: 10.1210/er.2011-1050
 27. Sinitsyna OO, Rakhmanin YuA, Zholdakova ZI, et al. Epidemiological, toxicological and molecular-genetic aspects of endocrine disrupting chemicals in the chemical safety problem. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(3):197-203. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-3-197-203

Сведения об авторах:

✉ **Кряжев** Дмитрий Александрович – к.м.н., доцент кафедры общей гигиены; e-mail: kryazhev.87@inbox.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4592-3848>.

Карманова Дарья Сергеевна – к.м.н., доцент кафедры химии; e-mail: k_chemistry@orgma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9278-9456>.

Боева Татьяна Валерьевна – аспирант кафедры общей гигиены; e-mail: k_chemistry@orgma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5546-0202>.

Боев Виктор Михайлович – д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, заведующий кафедрой общей гигиены; e-mail: k_com.gig@orgma.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3684-1149>.

Борщук Евгений Леонидович – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения № 1; e-mail: be@orgma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3617-5908>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Боев В.М., Борщук Е.Л., Кряжев Д.А.; сбор данных: Боева Т.В., Карманова Д.С.; анализ и интерпретация результатов: Кряжев Д.А., Боева Т.В., Карманова Д.С.; обзор литературы: Боева Т.В., Карманова Д.С.; подготовка проекта рукописи: Карманова Д.С., Кряжев Д.А. Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по био-медицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: Борщук Евгений Леонидович является членом редакционного совета научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 25.01.24 / Принята к публикации: 10.02.25 / Опубликовано: 28.02.25

Author information:

✉ Dmitrii A. **Kryazhev**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of General Hygiene; e-mail: kryazhev.87@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4592-3848>.

Tatyana V. **Boeva**, Postgraduate, Department of General Hygiene; e-mail: k_chemistry@orgma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5546-0202>.

Viktor M. **Boev**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation; Head of the Department of General Hygiene; e-mail: k_com.gig@orgma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3684-1149>.

Daria S. **Karmanova**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Chemistry; e-mail: k_chemistry@orgma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9278-9456>.

Evgeni L. **Borshchuk**, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Head of the Department of Public Health and Healthcare No. 1; e-mail: be@orgma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3617-5908>.

Author contributions: study conception and design: *Boev V.M., Borshchuk E.L., Kryazhev D.A.*; data collection: *Boeva T.V., Karmanova D.S.*; analysis and interpretation of results: *Kryazhev D.A., Boeva T.V., Karmanova D.S.*; bibliography compilation and referencing: *Boeva T.V., Karmanova D.S.*; draft manuscript preparation: *Karmanova D.S., Kryazhev D.A.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: Evgeni L. Borshchuk is a member of the Editorial Council of the journal *Public Health and Life Environment*; other authors have no conflicts of interest to declare.

Received: January 25, 2024 / Accepted: February 10, 2025 / Published: February 28, 2025