



Микроэлементный дисбаланс у детей как маркёр экологического неблагополучия окружающей среды и формирования заболеваний пищеварительного тракта у детей

Шашель В.А., Первишко О.В., Маталаева С.Ю., Иваненко А.С., Фирсова В.Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения Российской Федерации, (ул. им. Митрофана Седина, 4, г. Краснодар, 350063, Россия)

Для цитирования: Шашель В.А., Первишко О.В., Маталаева С.Ю., Иваненко А.С., Фирсова В.Н. Микроэлементный дисбаланс у детей как маркёр экологического неблагополучия окружающей среды и формирования заболеваний пищеварительного тракта у детей. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2025;(1): 69–77 doi: 10.31146/1682-8658-ecg-245-1-69-77

✉ Для переписки:

Маталаева

Светлана Юрьевна

luludi@inbox.ru

Шашель Виктория Алексеевна, д.м.н., профессор кафедры педиатрии № 1

Первишко Олеся Валерьевна, к.м.н., доцент, заведующий кафедрой педиатрии № 1

Маталаева Светлана Юрьевна, к.м.н., доцент кафедры педиатрии № 1

Иваненко Алина Станиславовна, ассистент кафедры педиатрии № 1

Фирсова Виолетта Николаевна, к.м.н., доцент кафедры педиатрии № 1

Резюме

В эпоху интенсивного технологического прогресса и усиления антропогенного воздействия, детское и взрослое население страны сталкивается с увеличением объема вредных выбросов в атмосферу, водоемы и почву, что в свою очередь, может привести к росту хронических заболеваний, особенно среди подрастающего поколения. В связи с чем становится актуальным изучение микроэлементного статуса ребенка как одного из биомаркеров развития широкого спектра хронических заболеваний.

Цель исследования. Оптимизировать раннюю диагностику хронических заболеваний пищеварительного тракта путем оценки состояния макро- и микроэлементного статуса у детей в зависимости от экологического состояния окружающей среды.

Материалы и методы. исследование проводилось в несколько этапов. На I этапе изучался микроэлементный состав волос у 186 различными заболеваниями пищеварительного тракта, проживающих на территориях Краснодарского края с различной степенью загрязнения окружающей среды. Из них, мальчиков было 64 (34,4%), средний возраст $10,2 \pm 1,7$ и девочек – 122 (65,6%), средний возраст $7,6 \pm 2,1$. На II этапе производилась оценка состояния окружающей среды различных территорий Краснодарского края. Изучение влияния экологического состояния окружающей среды на развитие заболеваний пищеварительного тракта проводилось путем определения их взаимосвязи с загрязнителями окружающей среды.

Результаты и обсуждение. Среди заболеваний пищеварительного тракта у детей Краснодарского края лидируют болезни желудка (16077–46,6%) и желчнокаменная болезнь (13134–38,1%). В 95% случаев неблагоприятное состояние окружающей среды являлось фактором риска развития хронического гастродуоденита ($OR=1,47$, ДИ 1,32–1,87) и желчнокаменной болезни ($OR=1,52$, ДИ 1,22–1,73). На рост заболеваний пищевода, желудка и ДПК, печени и желчных путей достоверно оказывают влияние загрязнение почвы пестицидами и бытовыми отходами ($t=2,30$, $p \leq 0,05$ и $4,66$, $p \leq 0,01$; $t=2,60$, $p \leq 0,05$ и $t=3,13$, $p \leq 0,01$; $t=2,06$, $p \leq 0,05$ и $t=1,72$, $p \leq 0,003$ соответственно), на заболевания кишечника – загрязняющие вещества почвы пестицидами ($t=2,39$, $p \leq 0,05$). Помимо этого, экологическое состояние окружающей среды в 95% случаев является фактором риска накопления условно-эссенциального микроэлемента *мышьяка* ($OR=2,3$, ДИ 1,24–3,12), эссенциальных элементов – хрома и селена ($OR=3,14$; ДИ 1,21–3,48 и $OR=1,5$; ДИ 1,29–2,18 соответственно).

Заключение. Основным поллютантом, имеющим влияние на развитие заболеваний желудочно-кишечного тракта являются пестициды. В связи с чем, в районах, имеющих неблагоприятный экологический фон, необходимо разработать индивидуальные программы наблюдения и реабилитации среди детского населения с заболеваниями желудочно-кишечного тракта. Исследование макро- и микроэлементного статуса у детей может служить маркером ранних проявлений заболеваний пищеварительного тракта у детей, что в свою очередь будет не только способствовать предотвращению болезни, но и улучшению состояния здоровья ребенка в целом.

Ключевые слова: заболеваемость, микроэлементозы, экологическое состояние окружающей среды, дети

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

EDN: OVLVGY



<https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-245-1-69-77>

Microelement imbalance in children as a marker of environmental unfavorability and the development of digestive system diseases in children

V.A. Shashel, O.V. Pervishko, S.Yu. Matalaeva, A.S. Ivanenko, V.N. Firsova

Kuban State Medical University, (4, Mitrofana Sedina str., Krasnodar, 350063, Russia)

For citation: Shashel V.A., Pervishko O.V., Matalaeva S.Yu., Ivanenko A.S., Firsova V.N. Microelement imbalance in children as a marker of environmental unfavorability and the development of digestive system diseases in children. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2025;(1): 69–77. (In Russ.) doi: 10.31146/1682-8658-ecg-245-1-69-77

✉ **Corresponding author:**
Svetlana Yu. Matalaeva
luludi@inbox.ru

Victorya A. Shashel, Department of pediatrics № 1, MD, professor, head. Chair; ORCID: 0000-0003-1859-5826
Olesya V. Pervishko, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Pediatrics № 1; ORCID: 0000-0003-1083-2807
Svetlana Yu. Matalaeva, Associate Professor of the Department of Pediatrics № 1; ORCID: 0000-0002-2175-1239
Alina S. Ivanenko, postgraduate student, Department of Pediatrics No. 1; ORCID: 0009-0003-6939-9507
Violetta N. Firsova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Pediatrics No. 1; ORCID: 0000-0001-9699-510

Summary

Introduction. In the era of intensive technological progress and increasing anthropogenic impact, children and adults of the country are faced with an increase in the volume of harmful emissions into the atmosphere, water bodies and soil. This, in turn, can lead to an increase in chronic diseases, especially among the younger generation. In this regard, it becomes relevant to study the microelement status of a child as one of the biomarkers of the development of a wide range of chronic diseases.

Objective of the study. To optimize the early diagnosis of chronic diseases of the gastrointestinal tract by assessing the state of macro- and microelement status in children depending on the ecological state of the environment.

Materials and methods. The study was conducted in several stages. At the first stage, the microelement composition of the hair of 186 people with various diseases of the gastrointestinal tract, living in the territories of the Krasnodar Territory with varying degrees of environmental pollution, was studied. Of these, there were 64 boys (34.4%), the average age of 10.2 ± 1.7 , and 122 girls (65.6%), the average age of 7.6 ± 2.1 . At stage II, the state of the environment in various territories of the Krasnodar Territory was assessed. The study of the influence of the ecological state of the environment on the development of digestive diseases was carried out by determining their relationship with environmental pollutants.

Results and discussion. Among the diseases of the digestive tract in children of the Krasnodar Territory, the leading ones are stomach diseases (16077–46.6%) and cholelithiasis (13134–38.1%). In 95% of cases, unfavorable environmental conditions were a risk factor for the development of chronic gastroduodenitis (OR = 1.47, CI 1.32–1.87) and cholelithiasis (OR = 1.52, CI 1.22–1.73). The increase in diseases of the esophagus, stomach and duodenum, liver and bile ducts is significantly affected by soil pollution with pesticides and household waste ($t=2.30$, $p \leq 0.05$ and 4.66 , $p \leq 0.01$; $t=2.60$, $p \leq 0.05$ and $t=3.13$, $p \leq 0.01$; $t=2.06$, $p \leq 0.05$ and $t=1.72$, $p \leq 0.003$, respectively), and intestinal diseases are affected by soil pollutants with pesticides ($t=2.39$, $p \leq 0.05$). In addition, the ecological state of the environment in 95% of cases is a risk factor for the accumulation of the conditionally essential microelement arsenic (OR = 2.3, CI 1.24–3.12), essential elements – chromium and selenium (OR = 3.14; CI 1.21–3.48 and OR = 1.5; CI 1.29–2.18, respectively).

Conclusion. The main pollutant that influences the development of gastrointestinal diseases are pesticides. In this regard, in areas with an unfavorable environmental background, it is necessary to develop individual programs for monitoring and rehabilitation among the child population with gastrointestinal diseases. The study of macro- and microelement status in children can serve as a marker of early manifestations of gastrointestinal diseases in children, which in turn will not only help prevent the disease, but also improve the child's health in general.

Keywords: morbidity, microelementoses, ecological state of the environment, children

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

Введение

Формирование здоровья детского населения является интегральным процессом, который зависит от ряда факторов, включая социально-экономические условия проживания, генетическую предрасположенность и, что особенно важно, находится в прямой зависимости от экологического состояния окружающей среды. В эпоху интенсивного технологического прогресса и усиления антропогенного воздействия детское и взрослое население страны сталкивается с увеличением объема вредных выбросов в атмосферу, водоемы и почву [1]. Это, в свою очередь, может привести к росту хронических заболеваний, особенно среди подрастающего поколения [2]. За последние десятилетия научные исследования демонстрируют, что успехи в области охраны здоровья детей в значительной мере определяются экологической обстановкой региона проживания. В отечественной литературе имеются публикации, отражающие повышение уровня заболеваемости органов дыхания и желудочно-кишечного тракта у детей, проживающих на урбанизированных территориях нашей страны [3].

Учитывая анатомо-физиологические особенности детей и подростков, интенсивный их рост и активные метаболические процессы, незрелость ферментных и защитных свойств организма, данная группа является наиболее уязвимой категорией к действию ксенобиотиков и дисбалансу жизненно необходимых макро- и микронутриентов [4, 5].

Материалы и методы

Исследование проводилось в несколько этапов. На I этапе изучался микроэлементный состав волос у 186 различными заболеваниями пищеварительного тракта, проживающих на территориях Краснодарского края с различной степенью загрязнения окружающей среды. Из них, мальчиков было 64 (34,4%), средний возраст $10,2 \pm 1,7$ и девочек – 122 (65,6%), средний возраст $7,6 \pm 2,1$. Для оценки микроэлементного статуса был использован комплексный анализ волос, взятых с затылочной, теменной, лобных, височных областей головы от корней по всей длине. Макро- и микроэлементный состав волос изучался по 23 показателям с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой крови прибором Agilent 7500CE, где количественно определялись микроэлементы: эссенциальные – Fe, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se, Mn; условно-эссенциальные – As, B, Br, Li, Ni, Si; токсичные – Al, Cd, Pb, Be, Hg, Sb. За референсные значения микроэлементов были приняты показатели ВОЗ (1996).

На II этапе производилась оценка состояния окружающей среды различных территорий Краснодарского края. Для этого были изучены годовые отчеты из медицинского информационно-аналитического центра министерства здравоохранения г. Краснодара и краевого специализированного информационно-технического центра экологического контроля. Были проанализированы: техногенные выбросы в атмосферу, внесенные

Под микроэлементами подразумевают химические элементы, присутствующие в организме в сверхмалых концентрациях (10^{-3} – 10^{-12} %), которые играют критически важную роль в качестве кофакторов ферментов, компонентов гормонов, стабилизаторов мембран и участников ключевых метаболических путей. У детей потребность в микроэлементах повышена в связи с процессами роста и дифференцировки тканей [6]. Дефицит таких элементов, как цинк, селен, йод и железо, напрямую коррелирует с нарушениями физического, нервно-психического развития, когнитивных функций, иммунного ответа, а также заболеваний пищеварительного тракта. В то же время, дети и подростки обладают ограниченными способностями к детоксикации и выведению токсичных микроэлементов, которые обладают свойством биоаккумуляции [7, 8].

Поэтому, медицинское сообщество не может оставаться в стороне от проблем, связанных с экологическим влиянием окружающей среды на здоровье детей и взрослых. В связи с чем становится актуальным изучение микроэлементного статуса ребенка как одного из биомаркеров развития широкого спектра хронических заболеваний.

Цель исследования: оптимизировать раннюю диагностику хронических заболеваний пищеварительного тракта путем оценки состояния макро- и микроэлементного статуса у детей в зависимости от экологического состояния окружающей среды.

в почву пестициды, загрязняющие вещества в составе сточных вод, объемы тяжелых металлов в почве, загрязняющие вещества по продуктам животноводства, бытовые отходы. Изучение влияния экологического состояния окружающей среды на развитие хронических заболеваний проводилось путем определения их взаимосвязи с представленными выше загрязнителями окружающей среды по способу, разработанному В.А. Шашель с соавт. [9]. Способ позволяет рассчитать интегральный индекс экологического загрязнения территорий и ранжировать территории по уровням загрязнения. Для этого была проведена оценка годового количества загрязняющих веществ за 2015–2019 гг. по объемам:

- техногенных выбросов в атмосферу, в тоннах (А)
- внесенным в почву пестицидам, кг/га (В)
- загрязняющим веществам в составе сточных вод, тыс. тон (С)
- тяжелых металлов (D), мг/кг
- продуктов животноводства (Е), т/га
- бытовых отходов (F), м³/км²

Загрязнения окружающей среды оценивали по трем уровням и соответствию значениям:

- Первый уровень: А – 5,0–999,0 тонн;
В – 0,1–1,0 кг/га; С – 0,1–1,0 т/га; D – 0,9–9,9 мг/кг;
Е – 0,03–0,60 т/га; F – 20,63–100,00 м³/км²
- Второй уровень: А – 1000,0–10000,0 т;
В – 1,1–2,0 кг/га; С – 1,1–100,0 т/га; D – 10,0–15,5 мг/кг; Е – 0,7–2,0 т/га; F – 101,0–999,0 м³/км²

- Третий уровень: А более 10000,0 т; значение В более 2,0 кг/га; С более 100,0 т/га; при условии D более 15,6 мг/кг; Е более 2,1 т/га; F более 1000,0 м³/км².
- Индекс загрязненности окружающей среды (N) рассчитывали по формуле:

$$N = \frac{\sum_i^n + \sum_j^m Kji}{n \times m},$$

где K – уровень загрязненности в (i) году от (j) факторов, m – количество факторов, n – количество наблюдаемых лет – 5 лет, j – фактор загрязненности, i – соответствующий год.

Предложенный и усовершенствованный способ оценки индекса загрязненности окружающей среды вошел в патент «Способ оценки индекса загрязненности» (Патент 2760171 С1 № 2021103627/14(007866) от 12.02.2021 г.)

При построении моделей регрессии с фиксированными эффектами также рассматривалась возможность введения в уравнение регрессии переменной тренда (линейного и параболического), что позволило исключить существенный прирост коэффициента детерминации.

Статистический анализ полученных данных был смоделирован и обработан с использованием программ MS Excel, IBM SPSS Statistics 19,0. При проверке гипотез различия статистически достоверными считались при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Расчет индекса загрязненности окружающей среды позволил разделить всю территорию Краснодарского края на 3 группы по экологическому состоянию окружающей среды (рис. 1).

Большая часть территорий Краснодарского края относились к экологически неблагоприятным и условно благоприятным районам. Максимальный индекс загрязненности отмечался в крупных городах, таких как г. Новороссийск, г. Сочи, г. Краснодар, г. Армавир, а также некоторые районы черноморского побережья (Анапский, Крымский).

К наиболее благоприятным районам относились только 9 (19,6%) территориальных округа: Абинский, Апшеронский, Белоглинский, Калининский, Крыловской, Мостовской и Отраденский, Приморско-Ахтарский районы, город Горячий ключ.

Для определения роли окружающей среды на формирование заболеваний пищеварительного тракта у наблюдаемых детей на начальном этапе была изучена общая структура болезней желудочно-кишечного тракта у детей Краснодарского края по результатам ежегодной отчетности (рис. 1).

Среди заболеваний пищеварительного тракта у детей Краснодарского края лидируют болезни желудка (16077–46,6%) и желчнокаменная болезнь (13134–38,1%). При этом, большинство этих детей проживало в экологически неблагоприятных регионах Краснодарского края. Так, из 16077 детей

с гастритами большинство (15186–44,02%) проживали в экологически неблагоприятных районах. У детей с холелитиазом из 13134 более половины (8756) детей также проживали в экологически неблагоприятных регионах. Эта взаимосвязь была подтверждена расчетом показателей относительного риска развития болезней в экологически неблагоприятных районах, что составило по желчнокаменной болезни (OR=2,47, ДИ 1,67–1,99), гастритам и гастродуоденитам (OR=2,44, ДИ 1,42–1,75), язве желудка и ДПК (OR=2,44, ДИ 1,14–3,21), поджелудочной железы (OR=1,84, ДИ 1,19–1,58), что свидетельствует о том, что заболеваемость желчнокаменной болезнью и другими болезнями пищеварительного тракта в Краснодарском крае зависит от экологического состояния окружающей среды. Обращал на себя внимание тот факт, что по мере увеличения антропогенной нагрузки увеличивалась частота заболеваний (OR=1,53 ДИ 1,08–1,45; OR=1,71 ДИ 1,11–2,17; OR=1,87 ДИ 1,18–1,78 соответственно). Эти результаты совпадают с таковыми ранее выполненных работ, как в Краснодарском крае, так и в других регионах России [1,9,10].

При изучении структуры заболеваний пищеварительного тракта у детей в зависимости от состояния окружающей среды по результатам собственных исследований были выявлены следующие закономерности (табл. 1).

Как видно из представленной табл. 1, в 95% случаев неблагоприятное состояние окружающей

Рисунок 1.

Распределение территорий Краснодарского края по индексу загрязненности.
Distribution of territories of the Krasnodar Territory by pollution index.

Figure 1.

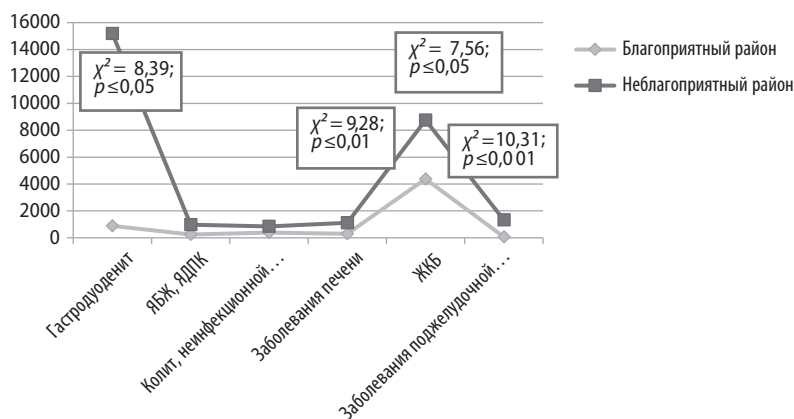


Рисунок 2.

Общая структура заболеваний пищеварительного тракта в зависимости от экологического состояния окружающей среды по результатам ежегодной отчетности

Figure 2.

General structure of gastrointestinal diseases depending on the environmental status, based on the results of annual reporting.

**Примечание:**

χ^2 – коэффициент Хи-квадрат; p – уровень достоверности между благоприятной и неблагоприятной средой; ЯБЖ, ЯБДПК – Язвенная болезнь желудка, Язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки; ЖКБ – желчнокаменная болезнь.

Note:

χ^2 – chi-square coefficient; p – significance level between favorable and unfavorable environment; GU, DU – gastric ulcer, duodenal ulcer; CL – gallstone disease.

Таблица 1.

Структура заболеваний пищеварительного тракта у исследуемых детей в зависимости от экологического состояния окружающей среды, по результатам собственных исследований, $n=186$, (%)

Table 1.

The structure of gastrointestinal diseases in the children studied, depending on the environmental conditions, based on the results of our own research, $n=186$ (%)

Заболевания	Экологическое состояние		Статистика			
	Благоприятное	Неблагоприятное	χ^2	$p \leq$	OR	ДИ
Хронические болезни пищеварительного тракта						
Гастроэзофагальная рефлюксная болезнь	9 (6,2)	4 (2,7)	14,5	0,001	0,87	0,72–1,17
Хронический гастродуоденит	29 (19,8)	60 (41,1)	5,7	0,05	1,47	1,32–1,87
Язвенная болезнь ДПК	1 (0,7)	3 (2,1)	0,01	0,9	1,35	1,45–3,21
Хронический холецистит	0 (0,0)	2 (1,4)	0,69	0,41	1,35	0,27–1,67
Хронический гепатит	0 (0,0)	4 (2,7)	1,39	0,24	1,35	0,67–2,11
Хронический панкреатит	2 (1,4)	4 (2,7)	1,19	0,27	2,3	0,67–2,19
Желчнокаменная болезнь	18(34,3)	50(65,7)	6,8	0,05	1,52	1,22–1,73
Аномалия развития толстой кишки: долихосигма. Хронический колит.	8	19	0,32	0,57	1,32	1,59–1,98
Итого:	59	127				

Примечание:

OR – относительный риск развития заболевания; ДИ – доверительный интервал; χ^2 – коэффициент Хи-квадрат; p – уровень достоверности между благоприятной и неблагоприятной средой.

Note:

OR – relative risk of developing the disease; CI – confidence interval; χ^2 – chi-square coefficient; p – significance level between favorable and unfavorable environment.

среды являлось фактором риска развития хронического гастродуоденита (OR=1,47, ДИ 1,32–1,87) и желчнокаменной болезни (OR=1,52, ДИ 1,22–1,73).

Для изучения влияния отдельных антропогенных факторов загрязнения окружающей среды (техногенные нагрузки, пестициды, загрязнение сточных вод) на формирование заболеваний пищеварительного тракта у детей использовался метод расчета по модели с фиксированными эффектами. Для этого учитывались показатели с 6-тью источниками загрязняющих веществ таких как: загрязняющие вещества выброса в атмосферу (тонн); загрязняющие вещества в сточных водах (т/Га); загрязняющие вещества в почве пестицидов (кг/Га); загрязняющие вещества в почве тяжелыми металлами (мг/кг); загрязняющие вещества от продуктов животноводства (тонн/Га) и загрязняющие вещества от бытовых отходов (м³/кг) за 5 лет. Полученные данные были уточнены расчетом коэффициента детерминации; в табл. 2. представлены только достоверно значимые группы заболеваний.

Как видно из табл. 2, на рост заболеваний пищевода, желудка и ДПК, печени и желчных путей

достоверно оказывают влияние загрязнение почвы пестицидами и бытовыми отходами ($t=2,30$, $p \leq 0,05$ и $4,66$, $p \leq 0,01$; $t=2,60$, $p \leq 0,05$ и $t=3,13$, $p \leq 0,01$; $t=2,06$, $p \leq 0,05$ и $t=1,72$, $p \leq 0,003$ соответственно); кишечника загрязняющие вещества почвы пестицидами ($t=2,39$, $p \leq 0,05$). Такое распределение заболеваний пищеварительного тракта в исследовательских группах указывает на то, что не только состояние окружающей среды, но и содержание ее поллютантов оказывает достоверное влияние на формирование заболеваний желудочно-кишечного тракта у детей.

Проведенный нами математический анализ влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на формирование заболеваний органов пищеварения у детей подтвердил выявленные закономерности (табл. 3).

На территориях с благополучным состоянием окружающей среды, по результатам проведенного исследования, заболевания пищеварительного тракта встречаются практически в равных соотношениях (4,2–4,0–3,8); По мере роста антропогенной нагрузки отмечается рост всех заболеваний,

Таблица 2.
Взаимосвязь влияния факторов загрязнения окружающей среды и заболеваний пищеварительного тракта у наблюдаемых детей, n=186, (%)

Table 2.
The relationship between the influence of environmental pollution factors and gastrointestinal diseases in observed children, n=186, (%)

Заболевания	Статистические методы	Загрязняющие вещества					
		выбросов в атмосферу, т	в сточных водах, т/га	в почве пестициды, кг/га	в почве тяжелые металлы мг/кг	от продуктов животноводства, тонн/Га	от бытовых отходов, м³/кг
Заболевания пищевода, желудка и ДПК	y-коэф.	0,12	-168,27	16,8	2,42	-38,27	0,04
	t-стат.	25,43	-0,44	2,6	0,88	-1,94	3,13
	p≤	0,44	0,67	0,05	0,39	0,06	0,01
	R²			0,83			0,89
Заболевания печени и желчевыводящих путей	y-коэф.	-0,02	23,8	2,09	-0,09	-25,59	0,01
	t-стат.	-1,04	0,62	2,06	-0,08	-1,48	1,72
	p≤	0,3	0,54	0,05	0,94	0,15	0,003
	R²			0,78			0,71
Заболевания кишечника	y-коэф.	0,01	12,62	2,26	0,36	-23,35	-0,003
	t-стат.	0,43	0,22	2,39	0,69	-1,73	-1,02
	p≤	0,67	0,83	0,02	0,49	0,09	0,32
	R²			0,92			0,64

Примечание:
R² – коэффициент детерминации; p – уровень достоверности между группами а и в; y-коэффициент; t-статистика.

Note:
R² – coefficient of determination; p is the level of confidence between groups a and b; y is the coefficient; t is the statistic.

Таблица 3.
Математические модели влияния антропогенных загрязнителей на количество заболеваний органов пищеварения у детей, проживающих на территориях с различным экологическим состоянием окружающей среды

Table 3.
Mathematical models of the impact of anthropogenic pollutants on the incidence of gastrointestinal diseases in children living in areas with different environmental conditions

Заболеваемость	Уравнение линейной регрессии	R²
Экологически благоприятное состояние территорий		
ЖКБ	$y = 394,190 + 0,60531 \cdot X_1 + 18,2373 \cdot X_2 - 6,49015 \cdot X_3$	21,6
Гастриты и гастродуодениты	$y = 0,39294 - 0,00085 \cdot X_1 + 0,01374 \cdot X_2 + 0,00121 \cdot X_3$	3,5
Язвенная болезнь ДПК	$y = 1,0005 + 0,00326 \cdot X_1 + 0,03839 \cdot X_2 - 0,00209 \cdot X_3$	4,2
Колиты	$y = 1,61304 - 0,00051 \cdot X_1 + 0,03562 \cdot X_2 + 0,00310 \cdot X_3$	4,0
Экологически неблагоприятное состояние территорий		
ЖКБ	$y = 811,385 - 0,00899 \cdot X_1 - 35,89612 \cdot X_2 + 0,06115 \cdot X_3$	45,5
Гастриты и гастродуодениты	$y = -1,1225 + 0,00031 \cdot X_1 + 0,00212 \cdot X_2 + 0,16998 \cdot X_3$	17,3
Язвенная болезнь ДПК	$y = 2,0091 + 0,00013 \cdot X_1 + 0,00768 \cdot X_2 - 0,20121 \cdot X_3$	18,5
Колиты	$y = 91,0571 - 0,00201 \cdot X_1 + 6,02013 \cdot X_2 + 2,05931 \cdot X_3$	33,9

Примечание:
y – заболевания; X₁ – техногенные выбросы в атмосферу; X₂ – внесенные в почву пестициды и тяжелые металлы мг/кг; X₃ – загрязняющие вещества от бытовых отходов, м³/кг; R² – множественный коэффициент детерминации (%).

Note:
y – diseases; X₁ – man-made emissions into the atmosphere; X₂ – pesticides and heavy metals applied to the soil, mg/kg; X₃ – pollutants from household waste, m3/kg; R² – multiple determination coefficient (%).

включая ЖКБ практически в два раза. При этом обращал на себя внимание тот факт, что по мере нарастания антропогенной нагрузки достоверно увеличивалась частота эрозивных поражений ВОПТ (r=0,62; p≤0,02), кишечника (r=0,46; p≤0,05). С пищей, водой и воздухом в организм человека поступают биоэлементы, которые оказывают воздействие не только на работу внутренних органов, но и на формирование патологических процессов [2, 14]. При этом, макро- и микроэлементы образуют органические и минеральные вещества, наряду с витаминами, белками и углеводами, являются жизненно важными компонентами пищи, используемыми для построения структур тканей,

обеспечения биологических и физиологических процессов ребенка [4].
Учитывая, что основным источником формирования микроэлементозов является экологическое состояние окружающей среды, представляло интерес изучить микроэлементный статус у детей, проживающих в регионах с различной степенью загрязнения воздуха, почвы и воды, а также определить их взаимосвязь с формированием болезней пищеварительной системы у детей.
Состояние микроэлементного статуса у наблюдаемых детей в зависимости от экологического состояния окружающей среды представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Показатели уровня макро- и микро-элементов у наблюдаемых детей в зависимости от экологического состояния окружающей среды, $M \pm m$, $n=186$

Table 4.

Indicators of the level of macro- and microelements in the observed children depending on the ecological state of the environment, $M \pm m$, $n=186$

Макро- и микроэлементы	Референсные значения, мкг/г	Состояние окружающей среды		F критерий	Статистика			
		Благоприятное	Неблагоприятное		p≤	OR	ДИ	
Эссенциальные	Железо	5,00–50,00	26,02±5,5	23,81±7,1	1,17	0,28	1,04	0,70–1,52
	Калий	250–1000	568,46±234,5	588,86±197,1	0,11	0,74	1,02	1,18–2,19
	Кальций	300–1200	631,81±198,0	690,63±277,5	0,55	0,46	1,02	0,78–0,99
	Кобальт	0,002–0,10	0,03 ±0,01 ^a	0,20±0,04 ^a	4,61	0,04	7,6	1,12–1,69
	Магний	10,0–250,0	246,7±21,0 ^a	338,1±9,7 ^a	5,02	0,03	0,95	0,67–1,02
	Марганец	0,07–3,00	0,90±0,2	0,91±0,1	0,03	0,96	1,2	0,92–1,21
	Медь	5,0–50,0	16,40±3,8	15,4±1,5	0,10	0,78	1,06	0,56–1,39
	Молибден	0,02–0,15	0,09±0,02	0,08±0,01	0,37	0,55	1,02	1,89–2,74
	Натрий	280–1000	601,89±269,2	569,43±242,0	0,19	0,66	1,0	0,78–0,99
	Селен	0,155–1,40	1,79±0,1 ^a	1,84±0,04 ^a	5,56	0,02	1,5	1,29–2,18
Условно- эссенциальные	Хром	0,02–1,00	1,31±0,1 ^c	1,86±0,1 ^d	15,5	0,0001	3,1	1,21–3,48
	Цинк	84,0–342,0	186,60±73,1	187,0±56,9	0,01	0,98	1,04	1,18–2,12
	Кадмий	<0,10	0,04±0,03	0,05±0,03	0,67	0,42	1,4	0,87–1,76
	Кремний	5,0–35,0	19,68±7,7	18,52±8,9	0,19	0,66	1,06	1,11–1,52
	Литий	0,005–0,05	0,03±0,01	0,02±0,01	0,87	0,36	0,8	0,89–1,39
	Мышьяк	<1,000	1,05±0,01 ^a	2,10±0,01 ^a	4,15	0,05	2,3	1,24–1,12
	Никель	<1,00	0,29±0,08	0,52±0,09	1,63	0,21	2,0	0,59–1,21
	Титан	<0,01	0,003±0,001	0,05 ±0,03	0,98	0,33	0,3	1,75–1,99
	Бор	<3,00	1,70±0,1	1,40±0,1	0,98	0,33	0,95	1,39–2,15
	Алюминий	<40,0	11,18±4,7	11,31±6,6	0,04	0,95	1,14	1,28–4,32
Токсичные	Ртуть	0,01–2,00	2,13±0,7	2,36 ±0,1	3,66	0,05	0,4	0,89–1,11
	Свинец	<5,00	5,66±0,2 ^a	5,29±0,1 ^a	5,65	0,03	2,2	1,12–1,62
	Сурьма	0,005–1,0	0,49±0,09	0,51±0,04	0,04	0,85	1,2	1,11–1,95

Примечание:

F – критерий дисперсионного анализа; а и в – уровень значимости между благоприятной и неблагоприятной средой; с и d – уровень достоверности $p \leq 0,05$ между благоприятной и неблагоприятной средой.

Note:

F – analysis of variance criterion; a and b are the significance level between favorable and unfavorable environments; c and d are the significance level $p \leq 0,05$ between favorable and unfavorable environments.

По представленным данным из таблицы 4. видно, что экологическое состояние окружающей среды влияет на баланс микро и макро-элементов в виде достоверно значимого накопления у наблюдаемых детей таких эссенциальных элементов как кобальт, магний, селен и хром ($\chi^2=4,61$, $p<0,05$; $\chi^2=5,02$, $p<0,05$; $\chi^2=5,56$, $p \leq 0,05$ и $\chi^2=15,5$, $p \leq 0,0001$, соответственно) и токсических макроэлементов – свинца ($\chi^2=4,65$, $p<0,05$) и ртути ($\chi^2=3,66$, $p<0,05$), мышьяка (OR=2,3, ДИ 1,24–3,1). Имеются данные зарубежных исследований, где демонстрируется негативное влияние избытка хрома в организме человека на развитие заболеваний почек, печени и его повреждающее действие на ДНК [15, 16]. Такие изменения микро-элементного состава могут быть обусловлены как течением самих заболеваний, так и проживанием детей в экологически неблагоприятных районах.

Поступающая в организм с пищей медь абсорбируется в энтероцит с помощью транспортного белка Ctrl, за выход меди из клетки ответственен другой белок – АТР7А. Затем этот микроэлемент переносится альбумином и транскупином к печени. После кишечной абсорбции 75% меди поглощается печенью, а остальная часть, главным образом связанная с альбумином, поступает в периферическое кровообращение. В печени 20% поглощенной меди выводится обратно в желудочно-кишечный тракт, а 80% экспортируется на периферию, будучи связанной с церулоплазмином. Подсчитано, что

приблизительно 2,5 мг меди выводится ежедневно с желчью. Кроме того, медь участвует в синтезе гема, ее избыток способствует выведению из тканей железа, кобальта и магния, что не только влияет на процессы нуклеации в желчном пузыре, но может проявить себя развитием анемий [16].

Обращало на себя внимание, что каждая группа заболеваний пищеварительного тракта сопровождалась нарушением микроэлементного состава так или иначе патогенетически связанным с пораженным органом. Так, при хронических заболеваниях желудка и ДПК наблюдалась достоверная статистическая зависимость ($t=-3,12$, $p \leq 0,01$) в виде дефицита эссенциального микроэлемента селена (Se), который является антиоксидантом и выводит токсические элементы из печени и защищает липиды биологических мембран от разрушения, а также является антагонистом мышьяка, ртути, кадмия. Дефицитом этого микроэлемента частично можно объяснить накопление мышьяка и ртути у наблюдаемых нами детей с ЖКБ [17].

При заболеваниях печени наблюдался дефицит кобальта ($t=-4,49$, $p \leq 0,0001$ и $t=-2,34$, $p \leq 0,05$, соответственно). Это могло быть обусловлено участием кобальта в углеводном и белковом обменах и его способностью накапливаться преимущественно в печени. Кобальт экскретируется желчью и активно участвует в активации ряда ферментов, одним из которых является активация

метилмалонил-СоА-мутаза, который участвует в обмене жирных кислот и синтезе инсулина [18]. Возможно предположить, что нарушения углеводного и белкового обменов при ЖКБ у детей приводят к дефициту эссенциальных микроэлементов (селена, кобальта), которые способствуют осложненному течению холелитиаза в виде формирования НАЖБП и инсулинорезистентности, либо наоборот сами по себе заболевания печени приводят к формированию конкрементов в желчном пузыре. Эти аспекты требуют дальнейшего изучения и уточнения.

Заболевания кишечника сопровождались избытком хрома ($t=2,40$, $p \leq 0,05$ и $t=1,97$, $p \leq 0,05$ соответственно), что можно рассматривать как компенсаторную реакцию при дислипидемии и гиперсекреции инсулина у детей с ЖКБ, осложненной НАЖБП и ожирением, поскольку он способствует снижению уровня холестерина в крови и входит в состав фермента, который ускоряет усвоение инсулина [18].

Заключение

Таким образом, большая часть детского населения, имеющая различные заболевания пищеварительного тракта, проживали в экологически неблагоприятных и условно-благоприятных районах Краснодарского края. К ним относились территории, которые имеют высокий уровень антропогенной нагрузки и зоны сельскохозяйственных угодий. Основным поллютантом, имеющим влияние на развитие заболеваний желудочно-кишечного тракта являются пестициды. В связи с чем, в районах имеющих неблагоприятный экологический фон, необходимо разработать индивидуальные программы наблюдения и реабилитации среди

Токсические микроэлементы накапливаются у больных с профессиональными вредностями или при длительном нахождении в зонах экологического бедствия. Антагонистами токсических микроэлементов являются эссенциальные микроэлементы. Повышение их уровня в организме выполняет роль компенсаторной реакции, направленной на поддержание внутреннего гомеостаза. Срыв этой защитной реакции может приводить к вредоносному воздействию на организм ребенка не только токсических, но и эссенциальных микроэлементов [14, 15].

Высказанное предположение было подтверждено изучением состояния микроэлементного статуса у детей в зависимости от экологического состояния окружающей среды. По результатам проведенного исследования видно, что экологическое состояние окружающей в 95% случаев является фактором риска накопления условно-эссенциального микроэлемента мышьяка ($OR=2,3$, ДИ 1,24–3,12), эссенциальных элементов – хрома и селена ($OR=3,14$; ДИ 1,21–3,48 и $OR=1,5$; ДИ 1,29–2,18 соответственно).

детского населения с заболеваниями желудочно-кишечного тракта.

Полученные нами данные по изучению микроэлементного статуса в зависимости от состояния окружающей среды позволяют с высокой степенью достоверности прогнозировать формирование заболеваний органов пищеварения. В связи с этим исследование макро- и микроэлементного статуса у детей может служить маркером ранних проявлений заболеваний пищеварительного тракта у детей, что свою очередь будет не только способствовать предотвращению болезни, но и улучшению состояния здоровья ребенка в целом.

Литература | References

1. Dzhumagaziev A.A., Bezrukova D.A. Environmental components of children's health in the Astrakhan region. *Pediatric pharmacology*. 2020;4:328–333. doi: 10.15690/pf.v1714–2165.
2. Dzhumagaziev A.A., Bezrukova D.A. Ecological Aspects of Children Health in Astrakhan Region: Review. *Pediatric pharmacology*. 2020;17(4):328–333. (In Russ.) doi: 10.15690/pf.v1714–2165.
Джумагазиев А.А., Безрукова Д.А. Экологические составляющие здоровья детей Астраханского региона. *Педиатрическая фармакология*. 2020;4:328–333. doi: 10.15690/pf.v1714–2165.
3. Savilov E.D., Briko N.I., Kolesnikov S.I. Epidemiological aspects of modern environmental problems. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(2):134–139. (in Russ.) doi: 10.33029/0016–9900–2020–99–2–134–139.
Савилов Е.Д., Брико Н.И., Колесников С.И. Эпидемиологические аспекты экологических проблем современности. *Гигиена и санитария*. 2020;99(2):134–139. doi: 10.33029/0016–9900–2020–99–2–134–139.
4. Ferreira S.M., Fontes M.P., Pacheco A.A., et al. Risk assessment of trace elements pollution of Manaus urban rivers. *Science of The Total Environment*. 2020;(709):134–471. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134471.
5. Tsirikhova A.S., Kabaloeva D.V. Disturbance of mineral metabolism in children and factors influencing its occurrence. *International research journal*. 2024; 3 (141). (in Russ.) doi: 10.23670/IRJ.2024.141.20.
Цирихова А.С., Кабалоева Д.В. Нарушение минерального обмена у детей и факторы, влияющие на его возникновение. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2024; № 3(141). doi: 10.23670/IRJ.2024.141.20.
6. Sultanova F., Inakova V., Umarova M. et al. Microelements and their physiological significance for the body of children and adolescents. *International Journal of Scientific Pediatrics*. 2023;2(6): 239–243. (in Russ.) doi: 10.56121/2181–2926–2023–2–6–239–243.
Султанова. Ф., Инакова В., Умарова М. и соавт. Микроэлементы и их физиологическое значение для организма детей и подростков. *Международный журнал научной педиатрии*. 2023; 2(6): 239–243. doi: 10.56121/2181–2926–2023–2–6–239–243.
7. Likhobabina O.A., Makhmutov R.F., Bobrovitskaya A.I. Diversity of factors determining the state of the body of children. *University Clinic*. 2023;2(47):60–67. (in Russ.)
Лихобабина О.А., Махмутов Р.Ф., Бобровицкая А.И. Многообразие факторов, определяющих состоя-

- ние организма детей // Университетская клиника. 2023;2(47):60–67.
8. Lugovaya E.A., Stepanova E.M. Imbalance of chemical elements in the body of inhabitants of the circumpolar region as a reflection of geochemical environmental factors. *Natural Sciences and Humanities*. 2024; 3(1):153–158. (in Russ.) doi: 10.37614/2949–1185.2024.3.1.018.
Луговая Е.А., Степанова Е.М. Дисбаланс химических элементов в организме жителей циркумполярного региона как отражение геохимических факторов среды. *Естественные и гуманитарные науки*. 2024; 3(1):153–158. doi:10.37614/2949–1185.2024.3.1.018
9. Shashel V.A., Matalaeva S.Yu. Method for assessing environmental pollution. Patent for invention No 2760171 C1, November 22, 2021. Application No. 2021103627 dated February 12, 2021. (in Russ.)
Шашель В.А., Маталаева С.Ю. Способ оценки загрязненности окружающей среды. Патент на изобретение 2760171 C1, 22.11.2021. Заявка № 2021103627 от 12.02.2021.
10. Maklakova O.A. Assessment of the risk of developing respiratory diseases and comorbid pathology in children in conditions of air pollution by chemicals of technogenic origin. *Health Risk Analysis*. 2019;2:56–63. (in Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2019.2.06.
Маклакова О.А. Оценка риска развития заболеваний органов дыхания и коморбидной патологии у детей в условиях загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами техногенного происхождения. *Анализ риска здоровью*. 2019;2:56–63. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.06.
11. Shashel V.A., Levin P.V. Epidemiological risk factors for the development of pancreatic diseases in children and adolescents of the Krasnodar Territory. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2020; 1 (179): 33–39. (in Russ.) doi: 10.31146/1682–8658-ecg-173–1–33–39.
Шашель В.А., Левин П.В. Эпидемиологические факторы риска формирования заболеваний поджелудочной железы у детей и подростков Краснодарского края. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2020;1(179):33–39. doi: 10.31146/1682–8658-ecg-173–1–33–39.
12. Beridze M., Shishniashvili T., Futuridze S. et. al. Elemental content – general and oral health of children. *Georgian Med News*. 2021;(314):82–86. PMID: 34248032.
13. Wang X., Han X., Guo S., Ma Y., Zhang Y. Associations between patterns of blood heavy metal exposure and health outcomes: insights from NHANES 2011–2016. *BMC Public Health*. 2024 Feb 22;24(1):558. doi: 10.1186/s12889–024–17754–0.
14. Skalny A.V. Aschner M., Silina A.V. et al. The Role of Trace Elements and Minerals in Osteoporosis: A Review of Epidemiological and Laboratory Findings. *Biomolecules*. 2023;13(6): 1006. doi: 10.3390/biom13061006.
15. Bogdanyants M.V., Dzhumagaziev A.A., Shmeleva A.Yu. et al. The Relationship between Childhood Morbidity and Air Pollution: An Assessment of the Situation in the Astrakhan Region. *Modern Problems of Science and Education*. 2025; (5). (in Russ.) doi: 10.17513/spno.34252.
Богданьянц М.В., Джумагазиев А.А., Шмелева А.Ю. и соавт. Взаимосвязь деткой заболеваемости с загрязнением атмосферного воздуха: оценка ситуации в астраханской области. *Современные проблемы науки и образования*. 2025. № 5. doi: 10.17513/spno.34252.
16. Deeva T.A., Tyagunov E.G. Selenium: biochemical role and significance of balance in the human body. *Molecular Medicine*. 2025. (in Russ.) doi: 10.29296/24999490–2025–06–12.
Деева Т.А., Тягунов Э.Г. Селен: биохимическая роль и значение баланса в организме человека. *Молекулярная медицина*. 2025. doi: 10.29296/24999490–2025–06–12.
17. Teschke R., Xuan C.D. Heavy metals such as aluminum, arsenic, cadmium, chromium, copper, iron, lead, manganese, mercury, nickel, and zinc contaminate drinking water: their individual health risks. *Int. J. Mol. Sci*. 2025;26(23):11656. doi: 10.3390/ijms262311656
18. Haque M.M., Niloy N.M., Khirul M.A. et al. Appraisal of Probabilistic Human Health Risks of Heavy Metals in Vegetables from Industrial, Non industrial and Arsenic Contaminated Areas of Bangladesh. *Heliyon*. 2021;7(2):306–309. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06309.