

УДК 613.2

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАЦИОНА ПИТАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ЭКСПОСОМИКИ И НУТРИЕНТНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

Мажаева Т.В.^{1,2}, Гурвич В.Б.¹, Сутункова М.П.^{1,2}, Чернова Ю.С.¹

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, Екатеринбург, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет Минздрава России», Екатеринбург, Российская Федерация

Использование показателей экспосомы, в том числе профилирование пищевого статуса, в формировании объективных персонализированных фенотипических и метаболических особенностей для группового и индивидуального моделирования питания является актуальным направлением.

Цель. На основе экспосомики, с учетом фенотипических и метаболических признаков населения разработать подходы к моделированию рациона питания населения.

Материалы и методы. Использованы методы ретроспективного и проспективного исследования. Выбраны три группы населения (дошкольники, школьники, рабочие промпредприятий), находящиеся в различных условиях проживания, с разным социально-экономическим уровнем, санитарно-эпидемиологической обстановкой. Исследования включали оценку: окружающей среды, антропометрических данных, полиморфизма генов, фактического питания, содержания металлов в крови, органических кислот в моче, глутатиона S-трансферазы, противовоспалительных цитокинов, вариабельности сердечного ритма, биохимических и клинических данных, микробиоты кишечника.

Результаты и обсуждение. Разработан подход к формированию фенотипов, включающий группу показателей: окружающая среда, интоксикация организма, способность к детоксикации, избыточная масса тела, ожирение, риск метаболических нарушений, состояние микробиоты кишечника. С учетом потребности в макро- и микронутриентах, с использованием принципов нутриентного профилирования, подобраны продукты и нутриенты для каждого фенотипа. Среди школьников и работающих на промышленных предприятиях определен основной фенотип – «избыточная масса тела». Для работающих во вредных производственных условиях выделены 3 фенотипа, учитывающие

принципы лечебно-профилактического питания и снижение риска метаболических нарушений.

Модели питания, созданные с применением принципов метаботипирования и нутриентного профилирования, будут способствовать более эффективной профилактике заболеваний. Интеграции биомаркеров микробиома и пробиотиков следующего поколения потенциально позволяет выйти за рамки традиционных методологий оценки эффективности предложенных моделей питания.

Ограничения исследования. Небольшая выборка снижает точность полученных результатов.

Выводы. Современный подход к экспосомике в нутрициологии позволяет дифференцировать группы по схожим признакам, разрабатывать групповые рекомендации и модели питания для наиболее эффективной профилактики негативного воздействия факторов среды обитания на здоровье населения.

Ключевые слова: экспосомика, фенотипы питания дошкольников, метаботипы, гены детоксикации, моделирование рационов, нутриентное профилирование

Соблюдение этических стандартов. На исследование получено разрешение локального этического комитета ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора № 5 от 27.12.2021. Все обследованные дали добровольное информированное согласие.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено при финансовой поддержке изучаемого предприятия.

Для цитирования: Мажаева Т.В., Гурвич В.Б., Сутункова М.П., Чернова Ю.С. Подходы к моделированию рациона питания населения на основе принципа экспосомики и нутриентного профилирования. Медицина труда и экология человека. 2025; 4:211-229. doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10411>

Для корреспонденции: Мажаева Татьяна Васильевна^{1,2} – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом гигиены питания, качества и безопасности продукции ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора (e-mail: mazhaeva@ymrc.ru; тел.: +7 (343) 2538273. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8566-2446>, тел: +79501930896

APPROACHES TO MODELING POPULATION NUTRITION BASED ON THE PRINCIPLE OF EXPOSOMICS AND NUTRIENT PROFILING

Mazhaeva T.V.^{1,2}, Gurvich V.P.¹, Sutunkova M.P.¹, Chernova J.S.¹

¹Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, Russian Federation

²Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russian Federation

The research was conducted at the Department of Food Hygiene, Product Quality and Safety, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers.

Introduction. At present, the use of exposome indicators, including profiling of nutritional status in the formation of objective personalized phenotypic and metabolic characteristics for group and individual diet modeling is of current interest in nutritional science.

Objective. To develop approaches to creating personalized and group diet models based on exposomics and given phenotypic and metabolic characteristics of the population.

Materials and methods. We used retrospective and prospective research methods. Three population groups (preschoolers, schoolchildren, and industrial workers) living in different socio-economic and environmental conditions were selected. We assessed phenotypic traits, anthropometric data, gene polymorphism, actual nutrition, blood metal levels, urinary organic acids, glutathione S-transferase levels, anti-inflammatory cytokines, heart rate variability, biochemical and clinical data, and intestinal microbiota.

Results and discussion. We developed the approach to forming phenotypes using a decision tree that includes a group of indicators: environment, body intoxication, detoxification capacity, overweight, obesity, risk of metabolic disorders, and intestinal microbiota status. Taking into account the phenotype and the need for macro- and micronutrients to enhance detoxification processes, normalize the metabolic, immune status, and microbiota, as well as the principles of nutrient profiling, we selected products and nutrients to be included in recipes for dishes and menus for each phenotype. Overweight was determined as the main phenotype among schoolchildren and industrial workers. For those exposed to occupational hazards, three additional phenotypes were identified, all considering the principles of therapeutic and preventive nutrition and reducing the risk of metabolic syndromes, including type 2 diabetes mellitus. In addition, individual recommendations were given to each subject. Nutrients are an important epigenetic factor affecting human health, and nutritional models created using

metabotyping and nutrient profiling contribute to more effective disease prevention. Integration of microbiome biomarkers and next-generation probiotics potentially allows us to go beyond traditional risk assessment methodologies and evaluate the effectiveness of proposed nutrition models for studying changes in the intestinal microbiota.

Study limitations. A small sample size reduces the accuracy of the results obtained.

Conclusions. The current approach to exposomics in nutritionology allows us to differentiate groups by similar characteristics, develop group recommendations and nutrition models for the most effective prevention of adverse human health effects of environmental factors.

Keywords: exposomics, nutritional phenotypes of preschoolers, metabotypes, detoxification genes, diet modeling, nutrient profiling

Compliance with ethical standards. Ethics approval was provided by the local Ethics Committee of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers (protocol No. 5 of December 27, 2021). Voluntary informed consent was obtained from all subjects.

Conflict of interest. The authors have no conflicts of interest to declare.

Funding. This research was supported by the enterprise under study.

For citation: Tatyana V. Mazhaeva, Vladimir B. Gurvich, Marina P. Sutunkova, Julia S. Chernova. Approaches to modeling population nutrition based on the principle of exposomics and nutrient profiling. Occupational Medicine and Human Ecology. 2025; 4: 211 – 229. doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10411>

For correspondence: Tatyana V. Mazhaeva – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Food Hygiene, Product Quality and Safety, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers (e-mail: mazhaeva@ymrc.ru; tel.: +7 (343) 2538273. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8566-2446>, tel.: +79501930896).

В контексте концепции экспосома здоровье популяции определяется совокупным воздействием множества факторов среды. Современные исследования закономерно интегрируют мультиомиксные подходы, включая метаболомику, в эпидемиологический дизайн. Актуально использование экспозомных показателей, таких как профилирование нутритивного статуса, для построения объективных персонализированных фенотипических и метаболических профилей. Это создаёт

основу для прецизионного моделирования питания на индивидуальном и групповом уровнях [1]. В настоящее время существует понятие пищевого фенотипа как определенного и интегрированного набора генетических, протеомных, метаболомных, функциональных и поведенческих факторов, которые при измерении формируют основу для оценки состояния питания человека. Питательный фенотип интегрирует влияние диеты на здоровье и является количественным показателем путей, по которым гены и окружающая среда оказывают свое влияние на здоровье [2].

В последние годы эволюционировала концепция таргетного питания, которая включает в себя предоставление конкретных рекомендаций по питанию группе фенотипически похожих людей или метаботипов. Классификация индивидуумов по подгруппам в соответствии с их метаболическим профилем определяется как метаботипирование, и этот подход используется для разработки эффективных моделей питания. Кроме того, применение метаботипирования в продольных исследованиях показывает, что метаботипы могут быть связаны с кардиометаболическими факторами риска и заболеваниями, связанными с питанием. В целом имеются убедительные доказательства того, что метаболическое фенотипирование является многообещающей стратегией для выявления групп риска и потенциального улучшения укрепления здоровья на уровне населения. [3].

Таким образом, использование показателей для фенотипирования и метаботипирования может быть перспективным для разработки рекомендаций по питанию, в том числе персонализированных. Система нутриентного профилирования, распределяющая пищевые продукты, полуфабрикаты, блюда и кулинарные изделия по составу и содержанию нутриентов, упрощает составление готовых рационов питания, в том числе специализированных, где особое внимание уделяется поступлению некоторых видов пищевых веществ.

Цель работы: на основе экспосомики, с учётом фенотипических и метаболических признаков населения, разработать подходы к созданию персонализированных и групповых моделей питания.

Материал и методы: проведены рандомизированные, проспективные, когортные исследования в трех социальных группах населения, находящихся в различных социально-экономических и санитарно-эпидемиологических условиях проживания и работы (дошкольники, школьники и рабочие). Были обследованы дети дошкольного возраста в возрасте 3 - 7 лет ($4,7 \pm 0,1$ года), из них 46% мальчиков,

проживающие в двух территориальных зонах: с неблагоприятной экологической обстановкой в г. Нижний Тагил (n=98) и в условно благоприятных по загрязнению окружающей среды, но с более низким социально-экономическим уровнем в г.Красноуфимск (n=99, из них 47% мальчиков); школьники средних классов (5-7 класс) в количестве 98 человек, из них 37% мальчиков) обследованы в крупном мегаполисе г. Екатеринбург, в четырёх школах; рабочие (n=80) – на одном из металлургических предприятий, расположенному в пригороде г. Екатеринбурга (средний возраст $45,2 \pm 1,3$ лет).

С целью составления адекватных групповых и индивидуальных рационов питания нами разработана система сбора информации о факторах и эффектах воздействия на человека формирования подгрупп на основе сходства фенотипических и метаболических характеристик субъектов [4].

Способ оценки экспосома, включая фенотипические признаки населения, заключался в формировании перечня факторов и их признаков, влияющих на здоровье человека, в вопроснике, состоящем из 42 вопросов. Ответы оценивались в баллах по отношению к заранее заданным параметрам здоровья человека (от 0 до 2 баллов). Баллы, присвоенные каждому признаку, суммировались по четырем блокам факторов: «Окружающая среда», «Образ жизни», «Здоровье», «Питание». Затем в группе родителей обследуемых детей и работающих промышленных предприятий из 380 человек определялось квартильное распределение выявленных признаков и значение по каждому из четырех блоков (референтные значения).

Индивидуальное количество баллов обследуемых групп родителей и работающих соотносилось со значениями, полученными по четырем квартилям, и вновь оценивалось от 0 до 3 баллов по каждому из блоков, затем суммировалось. Маркеры интоксикации и детоксикации изучались по содержанию металлов в крови, генам семейства глутатион-S-трансферазы, содержанию органических кислот в моче (дети, рабочие) и ферменту глутатион-S-трансферазы, противовоспалительным цитокинам IL-1, IL-4 (дошкольники) [5-7]. Модели питания оценивались по данным фактического питания с помощью анкетирования с использованием программы «НУТРИТЕСТ – ИП» ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Частота потребления отдельных групп пищевых продуктов сравнивалась с пирамидой питания проекта MyPyramid [8]. Анализ качественного и количественного состава пищевого рациона проводили на основании Методических

рекомендаций [9] и СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения». Используя международные методологические подходы к интегральной оценке состояния питания населения, нами был сформирован интегральный показатель здорового питания (индекс качества питания). За основу расчётов и критериев присвоения баллов с поправкой на доступную информацию и национальных рекомендации был взят индекс качества питания (DQI) [10, 11]. Маркеры питания изучались по содержанию 60 органических кислот в моче методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии [12]. Метаболомный анализ органических кислот осуществлялся с использованием базы данных KEGG PATHWAY и программы Metabolite Set Enrichment Analysis методом ассоциации набора метаболитов по изменениям концентрации промежуточных продуктов биохимических путей [13]. Росто-весовые показатели измерялись стандартными методами с помощью ростомера и весов, индекс массы тела рассчитывался и анализировался в соответствии с возрастными и половыми характеристиками. Для оценки функционального состояния человека использован диагностический комплекс «Лотос» (программное средство «Монитор Активности Сердца Лотос» ООО «НПФ «Динамика»), клинические данные по биохимическим показателям и диагнозам оценивались по данным периодических медицинских осмотров (ПМО). Генетические исследования 42 генов (панель «Диетология») проводились в лаборатории ООО «Базис Генотех» (BGG). По результатам исследования формировались фенотипические и метаболические признаки, по дереву решений определялись цели коррекции рациона, проводился выбор нутриентов и продуктов для его составления.

Для статистической обработки использовалась программа IBM SPSS Statistics 20. Соответствие нормальности распределения определялось по критерию Шапиро-Уилка, сравнение нескольких групп – по критерию Краскела-Уоллиса, корреляционный анализ – по Спирмену. Значимость показателей принималась по значению $p < 0,05$.

Результаты исследования. По результатам анкетных данных при оценке признаков (эффектов) негативного воздействия на здоровье детей и родителей факторов окружающей среды, город Красноуфимск отнесен к условно чистой территории (отсутствуют крупные промышленные предприятия). По результатам опроса родителей обследованных детей г.Красноуфимска набрали в данном разделе минимальное количество баллов – 25 (73% родителей).

Нижний Тагил является крупным промышленным центром Урала и по данным Роспотребнадзора относится к территории с высоким уровнем химического риска. Соответственно, респонденты данной территории набрали максимальное количество баллов ($p=0,000$) по блоку вопросов воздействия окружающей среды и набрали в сумме в 10 раз больше баллов (235 из 380). Следующий блок вопросов в анкете касался реализованных заболеваний, по которому достоверных различий между группами респондентов не выявлено. Оценка образа жизни также не показала различий, во всех группах отмечается высокий риск влияния этого фактора на здоровье. По блоку «питание» самый плохой результат установлен у родителей и детей Красноуфимска ($p=0,037$).

Получены ассоциации между хроническими заболеваниями и аллергическими проявлениями у населения, проживающего на территории с неблагоприятной экологической обстановкой (г.Нижний Тагил) (от $r=0,27$ до $r=0,35$, $p<0,01$).

В группу работающих промышленного предприятия с высокой вероятностью воздействия окружающей среды и нерациональным питанием отнесены 41,0% респондентов, по реализованным (имеющимся) диагнозам и нарушению детоксикации организма – 38,5%, по несоблюдению принципов ЗОЖ – 48,7%. А 49% работающих имели высокую вероятность проявления фенотипических признаков нарушения здоровья по блокам «здоровье», «питание», «детоксикация» одновременно.

Негативное воздействие окружающей среды на детей подтверждается такими показателями, как наличие экспозиция к металлам и цитогенетическое повреждения клеток буккального эпителия (от $r=0,34$, $p<0,01$ до $r=0,52$, $p<0,01$), содержанием провоспалительных цитокинов (IL-1 и IL-4), наличием маркеров интоксикации токсичными веществами по содержанию органических кислот в моче (миндальная кислота, метилгиппуровых кислот). При этом у дошкольников г. Нижний Тагил более чем в 2 раза выше экспозиция по алюминию, марганцу, свинцу, у них чаще встречаются цитогенетические повреждения клеток буккального эпителия ($p<0,001$), более высокие показатели маркеров аллергических реакций (IL 4), выше значения глутатион-S-трансферы и органических кислот, маркеров интоксикации ($p<0,001$).

Средний балл рассчитанного нами индекса качества питания (ИКП) в группе дошкольников составил 48,5 балла, среди школьников – 44,0 балла, у рабочих – 50,8 балла (табл. 1).

Таблица 1. Показатели бальной оценки ИКП у трех групп обследованных

Table 1. Indicators of the ICP score in three groups of subjects

Показатель (макс. балл) / Score (max points)	Дошкольники / Preschoolers	Школьники / Schoolchildren	Рабочие / Workers
Зерновые и картофель (10) / Cereals and potatoes (10)	6,9	5,4	6,1
Овощи (10) / Vegetables (10)	8,0	6,4	9,0
Фрукты (10) / Fruits (10)	7,8	6,5	6,4
Белковые продукты (молочные, мясные, рыбные (10) / Protein-rich foods (dairy, meat and fish products) (10)	7,3	7,5	7,9
Кондитерские изделия и жиры (10) / Confectionery and fats (10)	0,2	0,5	0,0
ПНЖК (10) / Polyunsaturated fatty acids (10)	7,8	8,2	8,7
Пищевые волокна (10) / Dietary fibers (10)	5,2	3,1	4,7
Добавленный сахар (10) / Added sugar (10)	0,8	2,0	3,2
Натрий (10) / Sodium (10)	0,0	0,3	0,1
Разнообразие (10) / Food variety (10)	4,5	4,1	4,7
ОБЩИЙ БАЛЛ (100) / TOTAL SCORE (100)	48,5	44,0	50,8

ИКП у рабочих выше, чем у детей, но достоверно отличается только от ИКП школьников ($p = 0,00$). Общий балл ИКП более 80, который оценивается как «хороший» рацион, не выявлен ни у одного обследованного. «Удовлетворительный» рацион отмечается у 43,8% дошкольников, 32,5% школьников и 52,5% рабочих. «Неудовлетворительный» рацион установлен среди 56,3% дошкольников, 67,5% школьников, 47,5% рабочих. В целом рацион питания в каждой группе респондентов можно охарактеризовать как «неудовлетворительный» [14].

Данные антропометрии показали, что у дошкольников г. Нижний Тагил чаще выявляется фенотип с дефицитной массой тела (16,3% против 12,1% в Красноуфимске, $p=0,042$). В г. Красноуфимске, напротив, 22,2% имеют избыточную массу тела по сравнению с Нижним Тагилом, где избыточная масса тела выявляется у 18,5% ($p=0,045$). В крупном мегаполисе г. Екатеринбурга фенотип избыточной массы тела у школьников встречается в 32,5% случаев, а ожирения – в 13,3%. Наибольшие показатели избыточной массы тела и ожирения встречаются среди работающего населения, а именно в 50% и 22,5% соответственно.

По результатам анализа содержания органических кислот выявлены риски нарушения углеводного обмена по избыточному содержанию пировиноградной кислоты, наблюдаемому у рабочих в 17,9% случаев и близкому к верхней норме у 26,7% детей г. Красноуфимск. Риски нарушения жирового обмена чаще выявляются среди работающего населения по избыточному содержанию глутаровой, себациновой, адипиновой и субериновой кислот у 20,5%, 43,6%, 7,7%, 5,1% рабочих соответственно, и аналогичные кислоты у 6,67%, 26,67%, 23,33% и 6,67% детей г. Красноуфимска. Наличие маркеров интоксикации (у 30% по миндальной кислоте, 43,3% по мета-метилгиппуровой) и нарушения процессов детоксикации наблюдается у 40% детей г. Нижний Тагил.

Генетические исследования выявили высокие риски снижения функции детоксикации, нарушения углеводного и жирового обмена, а также нарушения обмена витаминов А и D. Высокие уровни глюкозы натощак наблюдались у 16,7% рабочих, а у лиц с повышенным генетическим риском – в 13,6%. Из показателей жирового обмена у 43,2% обследованных был повышен уровень общего холестерина или триглицеридов. Средние значения показателей функционального состояния организма по вариабельности сердечного ритма снижены у 67,5% рабочих, а по показателям ИМТ, объема талии, уровня общего холестерина, триглицеридов у 37% обследованных рабочих диагностирован метаболический синдром.

Микробиота кишечника дошкольников и рабочих оценивалась по микробному ядру и наличию избыточного количества условно-патогенной микрофлоры. По количеству представителей дружественной микробиоты ниже уровня клинической значимости выявлены в 100 % случаев среди рабочих. Представители микробиотического ядра у детей г. Красноуфимск в среднем по группе составляют 69,9% и 60,3% у детей г. Нижний Тагил при норме 70,5% [15].

Таким образом, выделены группы лиц со сходными индивидуальными признаками экспосома (признаками воздействия и эффекта), а именно: неблагоприятное действие факторов окружающей и производственной среды, низкий ИКП, генетические и метаболические признаки снижения функции детоксикации, избыточная масса тела или ожирение, метаболические нарушения углеводного и жирового обмена, дизбиоз, аллергический профиль и кардиометаболические риски.

Для обеспечения наибольшей эффективности при создании рационов питания необходимо было предусмотреть набор таких пищевых продуктов, которые по составу и содержанию нутриентов в наибольшей степени удовлетворяют потребности не только отдельного человека, но и определённых групп населения (генотипов и метаботипов) при организованном питании.

На примере дошкольников, проживающих в неблагоприятных условиях окружающей среды, был разработан подход к формированию четырех метаботипов по дереву решений, включающему две группы показателей: первая – характеризует экзогенную интоксикацию организма, вторая – способность к детоксикации (ответ организма на воздействие).

К показателям интоксикации были отнесены данные о наличии повышенной экспозиции к металлам, маркеры интоксикации по органическим кислотам, повышенные значения IL-1 IL-4, наличие условно-патогенной микрофлоры и отклонение от микробного ядра нормальной микробиоты. К показателям детоксикации были отнесены данные о наличии или отсутствии полиморфизма генов семейства глутатион-S-трансферазы, значение в крови фермента глутатион-S-трансферазы, наличие микробного ядра нормальной микробиоты. Оценка принадлежности к тому или иному метаботипу проводилась по отклонениям от референсных значений с использованием балльной системы.

К первому метаботипу были отнесены дети, у которых, по совокупности используемых данных, имелась интоксикация и была снижена система детоксикации; ко второму – имелась интоксикация, но система детоксикации работала нормально; к третьему – отсутствовала интоксикация, но была снижена система детоксикации; к четвёртому – отсутствовала интоксикация и система детоксикации работала нормально.

Для каждого метаботипа был смоделирован рацион питания. Одним из элементов в системе нутриентного профилирования является определение перечня обязательных продуктов исключения и перечня продуктов обязательного включения. Кроме того, определяются технологические параметры приготовления,

разрабатываются или используются соответствующие рецептуры, оценивается доступность данных о пищевой ценности и химическом составе продуктов, затем принимается решение о том, какие нутриенты и биологически активные вещества будут использоваться в модели питания (меню).

С учётом метаботипа и потребности в макро- и микронутриентах, для усиления процессов детоксикации, нормализации иммунного статуса и микробиоты, а также принципов нутритивного профилирования были подобраны базовые продукты, рекомендованные СанПиН 2.3/2.4.3590-20, и дополнительные продукты, которые должны обязательно входить в рецептуры блюд и, соответственно, в меню. На основании всех этапов профилирования созданы дополнительные рецептуры, вошедшие в меню трёх рационов питания, получивших названия: «Рацион для усиления детоксикации и поддержки микробиоты», «Рацион для усиления детоксикации, в т.ч. гипоаллергенный», «Сбалансированный, обогащённый рацион для профилактики интоксикации, в том числе дисбактериоза».

По такому же принципу дерева решений на основе фенотипирования и метаботипирования формируются персонифицированные рекомендации и рационы питания для организованного питания. С учётом выявленных признаков среди школьников и работников промышленных предприятий определён основной фенотип – «избыточная масса тела», для которого были подобраны соответствующие пищевые продукты исключения и обязательного включения с пониженной калорийностью и высокой плотностью белка и микронутриентов. Для работающих во вредных производственных условиях было выделено дополнительно 3 фенотипа с обязательным включением продуктов в соответствии с принципами лечебно-профилактического питания и дополнительно снижающих риски метаболических синдромов, в том числе отдельный рацион для имеющих признаки нарушения углеводного обмена и сахарного диабета 2-го типа.

Обсуждение. Применение метаболического профилирования в исследованиях экспосома, наряду с традиционными исследованиями в области гигиены окружающей среды, завоевывает все большую популярность, несмотря на то, что экспосом рассматривался как дополнение к геному, определяющему риск заболеваний. На сегодняшний день не существует единого метода, позволяющего охарактеризовать суммарное участие окружающей среды в этиологии заболеваний [16]. Однако роль экспосомы в точной медицине и питании для создания персонализированных профилей питания по ключевым вопросам стимулирует дальнейшее развитие в области экспосомики в нутрициологии. Полная характеристика причинных экспосомальных особенностей и последующих

вмешательств требует знания многих источников воздействия. Это относительно просто, когда воздействие измеряется "снизу вверх" во внешних средах, таких как воздух, вода или пища (внешний экспосом), но может быть более сложным, когда измерения проводятся "сверху вниз" в биожидкостях (внутренний экспосом) [17].

В нашем исследовании учитывались модуляторы воздействия, к которым относятся пол, возраст, избыточная масса тела, кардиометаболические нарушения, генетический и метаболический профиль, микробиота. Например, дети дошкольного возраста наиболее подвержены воздействию экотоксикантов, у них имеются возрастные особенности питания. Также доказано, что избыточная масса тела является модулятором воспаления и т.д. Изучение полиморфизма генов детоксикации и антиоксидантной защиты (семейство генов глутатион-S-трансферазы (GST), супероксиддисмутазы (SOD)), а также генов метаболизма нутриентов позволяет нам выявить устойчивость организма к негативному воздействию окружающей среды, а также и усвоению пищевых веществ. Способность к детоксикации нами изучается по содержанию фермента глутатион-S-трансферазы, пищевых веществ в рационе питания, маркерам метаболизма по органическим кислотам в моче.

Однако роль питания в снижении или, наоборот, усилении негативного воздействия факторов окружающей среды давно известна. В наших результатах показано, что индекс качества питания у всех обследованных неудовлетворительный, в основном связанный с высоким потреблением сахаров, соли и низким разнообразием, особенно растительной пищи.

Антropометрические показатели могут указать на эффект воздействия как экологических факторов, так и нерационального питания. Так, низкие значения роста и массы тела могут быть связаны с наличием высоких концентраций металлов в крови у дошкольников. У школьников избыточная масса тела связана с питанием, у рабочих с образом жизни, питанием, производственной средой.

В последнее время все чаще публикуются данные о том, что наследование фенотипических признаков может происходить не через генетические факторы, а через эпигенетические механизмы [18-19]. Пищевые вещества являются важным эпигенетическим фактором воздействия на развитие или профилактику заболеваний, поэтому правильный подход с точки зрения фенотипирования и метаботипирования способствует более эффективному подбору нужных каждому в отдельности человеку и группе людей, схожих по определенным признакам, пищевых веществ и модели питания [20].

Моделирование питания обычно поддерживается диетическими рекомендациями по энергетической ценности и нутриентам, основанными на научных данных, что вносит значительный вклад в здоровье населения. Несмотря на консенсус в отношении того, что сбалансированная структура потребления продуктов питания и диверсифицированные диеты являются определяющими факторами для здорового питания, оно требует научного и адекватного подбора продуктов и нутриентов. Система нутриентного профилирования распределяет пищевые продукты, полуфабрикаты, блюда и кулинарные изделия по составу и содержанию нутриентов, благодаря чему упрощается составление готовых рационов питания, в том числе специализированных, где особое внимание уделяется поступлению некоторых нутриентов [21].

Заключение. Таким образом, подходы, основанные на принципах экспосомики, позволяют нам дифференцировать группы по схожим признакам, используя современные омиксные технологии, и разрабатывать групповые рекомендации. А также, что наиболее важно, формировать индивидуальный персонифицированный подход к моделированию рациона питания и получать возможность наиболее эффективно профилактировать негативное воздействие факторов среды обитания на здоровье населения. Поскольку новая перспектива интеграции биомаркеров микробиома и пробиотиков следующего поколения, потенциально влияющих и модулирующих здоровье человека, выходит за рамки традиционных методологий оценки рисков, нами выбран путь оценки эффективности предложенных моделей питания по исследованию изменений в микробиоте кишечника как это используется в современной нутрициологии [22].

Участие авторов:

Мажаева Т.В. – концепция и дизайн исследования;

Чернова Ю.С. – сбор, анализ и интерпретация данных;

Чернова Ю.С., Мажаева Т.В., Дубенко С.Э. – написание текста;

Гурвич В.Б., Сутункова М.П., Мажаева Т.В. – редактирование, внесение принципиальных изменений, утверждение окончательной версии статьи.

Author contribution:

Mazhaeva T.V. – study conception and design;

Chernova J.S. – data collection, analysis and interpretation;

Chernova Yu.S., Mazhaeva T.V., Dubenko S.E. – writing the text;

Gurvich V.B., Sutunkova M. P. Mazhaeva T.V. – editing, making fundamental changes, approving the final version of the article

Список литературы:

1. Maitre L., Guimbaud J.B., Warembourg C., Güil-Oumrait N., Petrone P.M., Chadeau-Hyam M., et al. State-of-the-art methods for exposure-health studies: results from the exposome data challenge event. *Environ Int.* 2022; 168: 107422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107422>.
2. Zeisel S.H., Freake H.C., Bauman D.E., Bier D.M., Burrin D.G., German J.B., et al. The nutritional phenotype in the age of metabolomics. *J Nutr.* 2005; 135(7): 1613-1616. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/135.7.1613>.
3. Hillesheim E., Brennan L. Metabotyping and its role in nutrition research. *Nutr Res Rev.* 2020; 33(1): 33-42. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422419000179>.
4. Бушуева Т.В., Минигалиева И.А., Клинова С.В., Шаихова Д.Р., Береза И.А., Амромина А.М., Мажаева Т.В., Штин Т.Н., Чернова Ю.С. Иммунохимические, цитогенетические изменения и генетический полиморфизм у детей, проживающих в условиях воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Гигиена и санитария. 2022; 101(12): 1555-1561. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1555-1561>.
5. Мажаева Т.В. , Дубенко С.Э., Чернова Ю. С. Схема моделирования рациона питания на основе фенотипических и генетических особенностей населения. Патент РФ 140696 от 20.02.2024 г.<https://www.ymrc.ru/nauka/izobretatelskaya-i-patentno-licenzionnaya-deyatelnost-268.html>
6. Мажаева Т.В., Дубенко С.Э., Штин Т.Н., Ярушин С.В., Чеботарькова С.А. Признаки фенотипических изменений у детей, проживающих в условиях химического загрязнения окружающей среды. Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. 2022; 30(9): 77-83. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-9-77-83>.
7. Mazhaeva T., Chernova Yu., Chugunova O., Grashchenkov D. Biomarkers of the nutrition quality and environmental impact. *E3S Web Conf.* 2023; 451: 05005. DOI: [10.1051/e3sconf/202345105005](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345105005).
8. Maryniuk M.D. Pyramids, paradigms, and possibilities. *Diabetes Spectr.* 2006; 19(1): 58-63. DOI: <https://doi.org/10.2337/diaspect.19.1.58>.

9. Тутельян В.А., и др. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации. М.: Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование РФ, 2021.
10. Patterson R.E., Haines P.S., Popkin B.M. Diet quality index: capturing a multidimensional behavior. *J Am Diet Assoc.* 1994; 94(1): 57-64. DOI: [https://doi.org/10.1016/0002-8223\(94\)92042-7](https://doi.org/10.1016/0002-8223(94)92042-7).
11. Haines P.S., Siega-Riz A.M., Popkin B.M. The Diet Quality Index revised: a measurement instrument for populations. *J Am Diet Assoc.* 1999; 99(6): 697-704. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(99\)00168-6](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(99)00168-6).
12. Карцова Л.А., Соловьёва С.А. Применение хроматографических и электрофоретических методов в метаболомных исследованиях. *Журнал аналитической химии.* 2019; 74(4): 243-253. DOI: 10.1134/S0044450219040054.
13. Xia J., Wishart D.S. Web-based inference of biological patterns, functions and pathways from metabolomic data using MetaboAnalyst. *Nat Protoc.* 2011; 6(6): 743-760. DOI: <https://doi.org/10.1038/nprot.2011.319>.
14. Basiotis P.P., Carlson A., Gerrior S.A., Juan W.Y., Lino M. The Healthy Eating Index: 1999–2000. Washington (DC): US Department of Agriculture, Center for Nutrition Policy and Promotion; 2002. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.311367>.
15. Платонова А.Г., и др. Хромато-масс-спектрометрическое исследование микробных жирных кислот в биологических жидкостях человека и их клиническая значимость. *Клиническая лабораторная диагностика.* 2015; 60(12): 46-55.
16. Walker D.I., Valvi D., Rothman N., Lan Q., Miller G.W., Jones D.P. The metabolome: a key measure for exposome research in epidemiology. *Curr Epidemiol Rep.* 2019; 6: 93-103. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40471-019-00187-4>.
17. Толкунова К.М., Могучая Е.В., Ротарь О.П. Трансгенерационное наследование: современные подходы к поиску причин заболеваний. *Артериальная гипертензия.* 2021; 27(2): 122-132. DOI: 10.18705/1607-419X-2021-27-2-122-132.
18. Posma J.M., Garcia-Perez I., Frost G., Aljuraiban G.S., Chan Q., Van Horn L., et al. Nutriome–metabolome relationships provide insights into dietary intake and metabolism. *Nat Food.* 2020; 1(7): 426-436. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0093-y>.

19. Guerrero-Bosagna C., Skinner M.K. Environmentally induced epigenetic transgenerational inheritance of phenotype and disease. *Mol Cell Endocrinol.* 2012; 354(1-2): 3-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2011.10.004>.
20. Laddu D., Hauser M. Addressing the nutritional phenotype through personalized nutrition for chronic disease prevention and management. *Prog Cardiovasc Dis.* 2019; 62(1): 9-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.12.004>.
21. Santos M., Rito A.I., Matias F.N., Assunção R., Castanheira I., Loureiro I. Nutrient profile models a useful tool to facilitate healthier food choices: A comprehensive review. *Trends Food Sci Technol.* 2021; 110: 120-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.082>.
22. Ortiz P., Torres-Sánchez A., López-Moreno A., Cerk K., Ruiz-Moreno Á., Monteolova-Sánchez M., et al. Impact of cumulative environmental and dietary xenobiotics on human microbiota: risk assessment for one health. *J Xenobiot.* 2022; 12(1): 56-63. DOI: <https://doi.org/10.3390/jox12010006>.

References:

1. Maitre L., Guimbaud J.B., Warembourg C., Güil-Oumrait N., Petrone P.M., Chadeau-Hyam M., et al. State-of-the-art methods for exposure-health studies: results from the exposome data challenge event. *Environ. Int.* 2022; 168: 107422. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107422>.
2. Zeisel S.H., Freake H.C., Bauman D.E., Bier D.M., Burrin D.G., German J.B., et al. The nutritional phenotype in the age of metabolomics. *J. Nutr.* 2005; 135(7): 1613-1616. <https://doi.org/10.1093/jn/135.7.1613>.
3. Hillesheim E., Brennan L. Metabotyping and its role in nutrition research. *Nutr. Res. Rev.* 2020; 33(1): 33-42. <https://doi.org/10.1017/S0954422419000179>.
4. Bushueva T.V., Minigalieva I.A., Klinova S.V., Shaikhova D.R., Bereza I.A., Amromina A.M., Mazhaeva T.V., Shtin T.N., Chernova Yu.S. Immunochemical, cytogenetic changes and genetic polymorphism in children living under the influence of adverse environmental factors. *Hygiene and Sanitation.* 2022; 101(12): 1555-1561. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1555-1561>.
5. Mazhaeva T.V., Dubenko S.E., Chernova Yu.S. Diet modeling scheme based on phenotypic and genetic characteristics of the population. Patent RF 140696, 2024 Feb 20. <https://www.ymrc.ru/nauka/izobretatelskaya-i-patentno-licenzionnaya-deyatelnost-268.html>

6. Mazhaeva T.V., Dubenko S.E., Shtin T.N., Yarushin S.V., Chebotarkova S.A. Signs of phenotypic changes in children living in conditions of environmental chemical pollution. *Public Health and Life Environment.* 2022; 30(9): 77-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-9-77-83>.
7. Mazhaeva T., Chernova Yu., Chugunova O., Grashchenkov D. Biomarkers of the nutrition quality and environmental impact. *E3S Web Conf.* 2023; 451: 05005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345105005>.
8. Maryniuk M.D. Pyramids, paradigms, and possibilities. *Diabetes Spectr.* 2006; 19(1): 58-63. <https://doi.org/10.2337/diaspect.19.1.58>.
9. Tutelyan V.A., et al. Norms of physiological requirements in energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation: methodological guidelines. M.: State Sanitary and Epidemiological Rationing of the Russian Federation, 2021. (In Russ.)
10. Patterson R.E., Haines P.S., Popkin B.M. Diet quality index: capturing a multidimensional behavior. *J. Am. Diet. Assoc.* 1994; 94(1): 57-64. [https://doi.org/10.1016/0002-8223\(94\)92042-7](https://doi.org/10.1016/0002-8223(94)92042-7).
11. Haines P.S., Siega-Riz A.M., Popkin B.M. The Diet Quality Index revised: a measurement instrument for populations. *J. Am. Diet. Assoc.* 1999; 99(6): 697-704. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(99\)00168-6](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(99)00168-6).
12. Kartcova L.A., Solovyova S.A. Application of chromatographic and electrophoretic methods in metabolomic studies. *Journal of Analytical Chemistry.* 2019; 74(4): 243-253. <https://doi.org/10.1134/S0044450219040054>.
13. Xia J., Wishart D.S. Web-based inference of biological patterns, functions and pathways from metabolomic data using MetaboAnalyst. *Nat. Protoc.* 2011; 6(6): 743-760. <https://doi.org/10.1038/nprot.2011.319>.
14. Basiotis P.P., Carlson A., Gerrior S.A., Juan W.Y., Lino M. The Healthy Eating Index: 1999–2000. Washington (DC): US Department of Agriculture, Center for Nutrition Policy and Promotion; 2002. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.311367>.
15. Platonova A.G., et al. Chromatographic-mass spectrometric study of microbial fatty acids in human biological fluids and their clinical significance. *Clinical Laboratory Diagnostics.* 2015; 60(12): 46-55. (In Russ.)
16. Walker D.I., Valvi D., Rothman N., Lan Q., Miller G.W., Jones D.P. The metabolome: a key measure for exposome research in epidemiology. *Curr. Epidemiol. Rep.* 2019; 6: 93-103. <https://doi.org/10.1007/s40471-019-00187-4>.

17. Tolkunova K.M., Moguchaya E.V., Rotar O.P. Transgenerational inheritance: modern approaches to the search for disease causes. *Arterial Hypertension.* 2021; 27(2): 122-132. (In Russ.) <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2021-27-2-122-132>.
18. Posma J.M., Garcia-Perez I., Frost G., Aljuraiban G.S., Chan Q., Van Horn L., et al. Nutriome–metabolome relationships provide insights into dietary intake and metabolism. *Nat. Food.* 2020; 1(7): 426-436. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0093-y>.
19. Guerrero-Bosagna C., Skinner M.K. Environmentally induced epigenetic transgenerational inheritance of phenotype and disease. *Mol. Cell. Endocrinol.* 2012; 354(1-2): 3-8. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2011.10.004>.
20. Laddu D., Hauser M. Addressing the nutritional phenotype through personalized nutrition for chronic disease prevention and management. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2019; 62(1): 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.12.004>.
21. Santos M., Rito A.I., Matias F.N., Assunção R., Castanheira I., Loureiro I. Nutrient profile models a useful tool to facilitate healthier food choices: A comprehensive review. *Trends Food Sci. Technol.* 2021; 110: 120-131. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.082>.
22. Ortiz P., Torres-Sánchez A., López-Moreno A., Cerk K., Ruiz-Moreno Á., Monteolova-Sánchez M., et al. Impact of cumulative environmental and dietary xenobiotics on human microbiota: risk assessment for one health. *J. Xenobiot.* 2022; 12(1): 56-63. <https://doi.org/10.3390/jox12010006>.

Information about the authors:

Mazhaeva T.V., <https://orcid.org/0000-0002-8566-2446>

Gurvich V.B., <https://orcid.org/0000-0002-6475-7753>

Sutunkova M. P. <https://orcid.org/0000-0002-4248-8118>.

Chernova J.S., <https://orcid.org/0000-0002-4248-8118>

Поступила/Received: 28.11.2025

Принята в печать/Accepted: 03.12.2025