

ПРОФПАТОЛОГАМ

EDN: <https://elibrary.ru/dxsuxz>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-1-35-41>

УДК 613.2

© Коллектив авторов, 2025

Мажаева Т.В., Дубенко С.Э., Чернова Ю.С., Сутункова М.П., Гурвич В.Б.

Персонализированный подход к оценке биомаркеров питания на примере рабочих горнорудного предприятияФБУН «Екатеринбургский медицинский–научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий»
Роспотребнадзора, ул. Попова, 30, Екатеринбург, 620014**Введение.** Использование современных омик-технологий и традиционных методов исследования в персонализированной нутрициологии позволяет дать интегральную оценку питания и здоровья работающих на промышленных предприятиях для формирования индивидуальных диетологических рекомендаций.**Цель исследования** — разработать персонализированный подход к оценке биомаркеров питания на примере рабочих горнорудного предприятия.**Материалы и методы.** В исследование были включены результаты медицинского осмотра и анкетирования 40 рабочих предприятия по добыче полезных ископаемых Свердловской области, проведена оценка индивидуального пищевого фенотипа и его клинических проявлений. В моче данных работников исследованы уровни 60 органических кислот методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ООО «Хромолаб»), оценён полиморфизм 42 генов (ООО «Базис Генотех»).**Результаты.** Питание всех обследованных работников предприятия характеризует европейскую модель с использованием большого количества ультраобработанных, высококалорийных продуктов с низкой плотностью витаминов и минеральных веществ. Наличие отклонений в содержании органических кислот в моче свидетельствует об изменении метаболических путей, связанных с обменом углеводов, аминокислот, коэнзима Q10, витаминов группы В, липоевой кислоты. По результатам генетического исследования у более 60% рабочих выявлены высокие генетические риски переедания, нарушения углеводного обмена, повышения уровня триглицеридов, липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), артериального давления, нарушения обмена витаминов D и A, непереносимости лактозы, снижения детоксикации. По показателям индекса массы тела (ИМТ), объёма талии, уровню общего холестерина, триглицеридов более трети обследованных имеют метаболический синдром.**Ограничения исследования.** Небольшая выборка и частотный метод анкетирования по питанию снижает точность полученных результатов.**Заключение.** Выявленные маркеры несбалансированного питания, а также исследуемые генетические и метаболические (диетологические) профили работающих могут свидетельствовать о высоких рисках истощения энергетических ресурсов организма, влиять на процессы детоксикации, функциональные возможности, повышать индивидуальные риски развития метаболического синдрома, что диктует необходимость разработки персонализированных диетологических рекомендаций и коррекции корпоративного питания.**Этика.** На исследование получено разрешение локального этического комитета ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора № 5 от 27.12.2021 г. Все обследованные дали добровольное информированное согласие.**Ключевые слова:** питание; органические кислоты; метаболические пути; полиморфизм генов; метаболический синдром**Для цитирования:** Мажаева Т.В., Дубенко С.Э., Чернова Ю.С., Сутункова М.П., Гурвич В.Б. Персонализированный подход к оценке биомаркеров питания на примере рабочих горнорудного предприятия. *Мед. труда и пром. экол.* 2025; 65(1): 35–41. <https://elibrary.ru/dxsuxz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-1-35-41>**Для корреспонденции:** Мажаева Татьяна Васильевна, e-mail: mazhaeva@ymrc.ru**Участие авторов:**

Мажаева Т.В. — концепция и дизайн исследования;

Дубенко С.Э. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста;

Чернова Ю.С. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста;

Сутункова М.П. — редактирование, внесение принципиальных изменений, утверждение окончательной версии статьи;

Гурвич В.Б. — редактирование, внесение принципиальных изменений, утверждение окончательной версии статьи.

Благодарности. Авторы выражают благодарность специалистам ООО «Базис Генотех» (BGG), Филиал КДЛ г. Екатеринбурга ООО «КДЛ ДОМОДЕДОВО-ТЕСТ», ООО «Хромолаб» (Chromolab), врачам ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора за помощь в проведении исследования.**Финансирование.** Исследование проведено при финансовой поддержке изучаемого предприятия.**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 24.12.2024 / Дата принятия к печати: 06.01.2025 / Дата публикации: 07.02.2025

Tatyana V. Mazhaeva, Svetlana E. Dubenko, Julia S. Chernova, Marina P. Sutunkova, Vladimir B. Gurvich

A personalized approach to the assessment of nutrition biomarkers using the example of mining workers

Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, 30, Popova St, Yekaterinburg, 620014

Introduction. The use of modern OMIC technologies and traditional research methods in personalized nutrition makes it possible to provide an integrated assessment of the nutrition and health of industrial workers in order to form individual dietary recommendations.

The study aims to develop a personalized approach to the assessment of nutrition biomarkers using the example of mining workers. **Materials and methods.** The study included the results of a medical examination and a survey of 40 workers at a mining enterprise in the Sverdlovsk region, and an assessment of the individual nutritional phenotype and its clinical manifestations was carried out. The levels of 60 organic acids in the urine of these workers were studied by gas chromatography mass spectrometry (LLC Chromolab), and the polymorphism of 42 genes was evaluated (LLC Basis Genotech).

Results. The nutrition of all surveyed employees of the enterprise characterizes the European model using a large number of ultra-processed, high-calorie products with a low density of vitamins and minerals. The presence of deviations in the content of organic acids in urine indicates a change in the metabolic pathways associated with the metabolism of carbohydrates, amino acids, coenzyme Q10, B vitamins, and lipoic acid. According to the results of a genetic study, more than 60% of workers revealed high genetic risks of overeating, impaired carbohydrate metabolism, increased levels of triglycerides, low-density lipoproteins (LDL), blood pressure, metabolic disorders of vitamins D and A, lactose intolerance, and decreased detoxification. According to body mass index (BMI), waist size, total cholesterol, and triglycerides, more than a third of the surveyed have metabolic syndrome.

Limitations. A small sample and a frequency-based nutrition questionnaire reduces the accuracy of the results obtained.

Conclusion. The identified markers of unbalanced nutrition, as well as the studied genetic and metabolic (dietary) profiles of employees may indicate high risks of depletion of the body's energy resources, affect detoxification processes, functional capabilities, and increase individual risks of developing metabolic syndrome, which necessitates the development of personalized dietary recommendations and correction of corporate nutrition.

Ethics. The study received permission from the local Ethics Committee of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers of Rosпотребнадзор No. 5 dated 12.27.2021. All the surveyed gave voluntary informed consent.

Keywords: nutrition; organic acids; metabolic pathways; gene polymorphism; metabolic syndrome

For citation: Mazhaeva T.V., Dubenko S.E., Chernova Yu.S., Sutunkova M.P., Gurvich V.B. A personalized approach to the assessment of nutrition biomarkers using the example of mining workers. *Med. truda and prom. ecol.* 2025; 65(1): 35–41. <https://elibrary.ru/dxsuxz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-1-35-41> (in Russian)

For correspondence: Tatiana V. Mazhaeva, e-mail: mazhaeva@ymrc.ru

Contributions:

Mazhaeva T.V. — research concept and design;

Dubenko S.E. — data collection, analysis and interpretation, text writing;

Chernova Yu.S. — data collection, analysis and interpretation, text writing;

Sutunkova M.P. — editing, making fundamental changes, approving the final version of the article;

Gurvich V.B. — editing, making fundamental changes, approving the final version of the article.

Acknowledgment. The authors express their gratitude to specialists of Basis Genotech LLC, Yekaterinburg Branch of the Clinical Diagnostic Laboratory (KDL DOMODEDOVO-TEST LLC), Chromolab LLC, and doctors of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers for their assistance in conducting the study.

Funding. The study was conducted with the financial support of the company under study.

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

Received: 24.12.2024 / Accepted: 06.01.2025 / Published: 07.02.2025

Введение. Прогнозирование состояния здоровья и трудового долголетия работающих, занятых во вредных и/или опасных условиях труда представляет актуальную проблему, обусловленную многообразием производственных факторов, оказывающих негативное воздействие на здоровье.

В связи с развитием медицинских технологий и возможностью использования персонифицированной нутрициологии, а также выполнением поручений Президента о разработке индивидуальных программ питания¹, комплексный подход к изучению связи нарушений здоровья работающих во вредных условиях труда с наличием у них генетических вариаций, сформированного метаболического профиля, обусловленных в том числе несбалансированным питанием для разработки выше указанных программ, является особенно актуальным [1–8].

Цель исследования — использовать персонифицированный подход к оценке биомаркеров питания у рабочих на примере горнорудного предприятия.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись 40 рабочих предприятия Свердловской области по добыче полезных ископаемых, прошедшие в 2021 г. в ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора периодический медицинский осмотр (ПМО). По результатам ан-

кетирования проведена оценка индивидуального пищевого фенотипа и его клинических проявлений. Исследование проведено сплошным методом. В группу исследования вошли работники 4-х основных профессий горнорудного производства по добыче полезных ископаемых: горнорабочий, машинист буровой установки, крепильщик и проходчик. По данным производственно-лабораторного контроля и специальной оценки условий труда общий класс условий труда (КУТ) рабочих отнесён к вредному 3.3. Средний возраст рабочих — 45,2±1,3 года. Для оценки пищевого фенотипа использована, разработанная в ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора оригинальная анкета, включающая 71 вопрос. Каждый ответ респондента на вопрос анкеты оценён в баллах по отношению к рекомендуемым параметрам здорового образа жизни и влиянию факторов среды обитания на здоровье человека [9–12].

В моче данных работников методом газовой хромато-масс-спектрометрии в лабораторном центре ООО «Хромолаб» (Chromolab) исследованы уровни 60 органических кислот, по которым можно судить о ключевых характеристиках питания по углеводной, жировой, белковой, витаминной и минеральной составляющей рациона питания, а также микробиоты кишечника. Метаболический анализ органических кислот осуществлялся с использованием базы данных KEGG PATHWAY² и программы Metabolite Set Enrichment Analysis методом ассоциации набора ме-

¹ Перечень поручений Президента Российской Федерации в пленарном заседании Форума бедующих технологий и его встречи с учёными 14 февраля 2024 г от 18.04.24 Пр-755 <https://clck.ru/3FeeSX> (дата обращения: 21.05.2024)

² KEGG: Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes. <https://www.genome.jp/kegg/>

таболитов по изменениям концентрации промежуточных продуктов биохимических путей [13].

Методом мультиплексной полимеразной цепной реакции с флуоресцентной детекцией продуктов амплификации и секвенирования в лаборатории ООО «Базис Гено-тех» (BGG) были проведены исследования 42 генов, отвечающих за пищевое поведение, жировой, углеводный, витаминный обмен, пищевую непереносимость, а также склонность к повышению артериального давления вследствие нарушения водно-солевого обмена, реакцию организма на физическую нагрузку и скорость восстановления после неё. Для интерпретации полученных данных BGG использовал самостоятельно разработанный алгоритм вычислений, основанный на принципах генных сетей. Алгоритм позволяет изучать и оценивать взаимодействие нескольких имеющихся у индивидуума структурных модификаций ДНК. Расчёт рисков основывался на ранее опубликованных данных международных исследований.

При оценке частоты встречаемости полиморфизма генов каждый рабочий отнесён в одну из групп риска по критерию наличия доминантного неблагоприятного носительства аллеля изучаемого гена или гетерозиготного носительства нескольких генов, отвечающих за проявление искомой функции. Благоприятное носительство отнесено к среднестатистическому (популяционному) риску отклонения функции, за которую отвечает ген.

Статистическую обработку проводили с помощью прикладного пакета SPSS Statistics 20. Сравнительный анализ независимых и связанных выборок проведён с использованием непараметрических методов Манна–Уитни, корреляционный анализ с использованием теста ранговой корреляции Спирмена. Связь между параметрами считалась значимой при значениях $p < 0,05$.

Результаты. Оценка анкетных данных по питанию показала, что у обследованных работающих горнорудного предприятия имеются нарушения пищевого поведения. В 67,5% случаев рабочие предпочитают сладкую, солёную или жирную пищу. Майонез ежедневно потребляет подавляющее большинство респондентов (87,5%), нерафинированные масла практически отсутствуют в рационе у 35% работающих. Каждый третий регулярно использует мясные и рыбные консервы или полуфабрикаты, 40% рабочих несколько раз в неделю едят колбасные изделия. Недостаток рыбы в рационе характерен для 15% рабочих, а молочных напитков — для 60%. Мучные кондитерские изделия ежедневно употребляют 100% респондентов, а сахаристые кондитерские изделия — 47,5%. Оценка потребления овощей показала, что 30% рабочих употребляет их не каждый день, в том числе брокколи и цветную капусту. Не используют листовую зелень — 47,5% респондентов, редко включают в рацион бобовые — 100% обследованных рабочих, около трети — не используют на регулярной основе фрукты, даже в сезон.

Анализ данных по содержанию органических кислот и обработка последовательностей биохимических реакций с их участием позволили выделить несколько приоритетных метаболических процессов, связанных с обменом белков, углеводов, циклом Кребса. По отдельным органическим кислотам (2-гидроксиизовалериановая кислота и 3-гидрокси-3-метилглутаровая, метилглутаровая) у 30% рабочих исследуемой группы возможна митохондриальная дисфункция и дефицит Коэнзима Q10, связанного с энергетическим обменом [14, 15]. Выявленный высокий уровень дис-аконитовой, 2-кетоглутаровой, фумаровой кис-

лот у трети обследованных может быть ассоциирован с дефицитом витаминов B₁, B₂, B₅ и B₃, а формиминоглутаминовой кислоты (метаболита гистидина) с дефицитом витамина B₉ [16].

Несмотря на тяжёлый физический труд (КУТ по тяжести труда — 3.2), данные антропометрии рабочих показали, что средний ИМТ в исследуемой группе — $28,6 \pm 0,06$ кг/м², что соответствует избыточной. В 50% случаев рабочие имели избыточную массу тела, ожирение — 22,5%. Окружность талии (ОТ), соответствующую метаболически нездоровому фенотипу (>102 см), имели 36,8% обследованных рабочих.

Данные генетического риска по отдельным генам, сгруппированным по функциональному признаку, представлены в **таблице**.

Выделена группа рабочих с генетической предрасположенностью к переёданию в 80% случаев, к нарушению углеводного обмена — у всех обследованных, из них 52,5% имели высокий риск, остальные — повышенный риск. Генетический риск повышенного уровня триглицеридов и ЛПНП в группе обследованных наблюдался в 92,5% и 72,5% случаев соответственно. Необходимо отметить, что 67,5% имели высокий риск повышения артериального давления после физической нагрузки. Генетически высокий риск нарушения обмена витамина D, участвующего в минеральном обмене опорно-двигательного аппарата, выявлен у 82,5%, витамина-антиоксиданта А, вносящего вклад в процессы детоксикации — у 60%. Непереносимость лактозы имели 37,5% рабочих. В исследуемой группе 60% были носителями аллеля С/С и А/С гена CYP1A2, ассоциированного со снижением детоксикации.

По результатам ПМО у 17,5% обследованных рабочих выявлена артериальная гипертензия. Повышение глюкозы натощак фиксировалось в среднем у 14,3%. У лиц с высоким генетическим риском нарушение углеводного обмена на момент исследования было уже реализовано в виде повышения глюкозы натощак в 16,7% наблюдений, у лиц с повышенным генетическим риском — в 13,6% случаев. Из показателей жирового обмена у 43,2% обследованных был повышен уровень общего холестерина или триглицеридов, из них у 12,5% при проведении УЗИ брюшной полости фиксировался стеатоз печени, что свидетельствует о длительном нарушении жирового обмена. Однако частота повышения уровня холестерина или триглицеридов в крови в группе с повышенным генетическим риском и в группе со среднестатистическим риском дислипидемии не различалась ($p > 0,05$).

Обсуждение. К нарушению пищевого поведения в обследованной группе рабочих можно отнести избыточное потребление калорийных, ультраобработанных продуктов, имеющих высокую степень термической обработки и потери большого количества полезных веществ [17]. Подтверждением нездоровых привычек в питании в исследуемой группе являются результаты оценки маркеров метаболизма макро- и микронутриентов по органическим кислотам в моче. Изменения метаболических процессов, связанных с обменом углеводов, дефицитом аминокислот с разветвлённой боковой цепью, коэнзима Q10, витаминов B₁, B₂, B₃, B₅, B₉, липоевой кислоты, может свидетельствовать о потребности их организма в веществах для поддержания энергетического обмена и для синтеза ферментов системы детоксикации [14, 15].

Употребление высококалорийных продуктов, лишённых большого спектра витаминов и минеральных веществ

Частота встречаемости риска нарушений физиологических и метаболических проявлений вследствие генетической предрасположенности, % (n=40)**Frequency of occurrence of risk of disorders of physiological and metabolic manifestations due to genetic predisposition, % (n=40)**

Проявления / Группа генов	Генетический риск, %		
	высокий	повышенный	среднестатистический
Особенности пищевого поведения			
Чувство насыщения и склонность к перееданию ген / FTO rs9939609, MC4R rs17782313	30	50	20
Особенности жирового и углеводного обмена			
Уровень общего холестерина / APOE rs429358 и rs7412, APOC1 rs4420638	2,5	42,5	55
Особенности пищевого поведения			
Повышение уровня ЛПНП / APOE rs429358 и rs7412, APOC1 rs4420638, ABCG8 rs6544713	2,5	70	27,5
Снижение уровня ЛПВП / ABCA1 rs2230806, APOA1 rs670, LPL rs268	2,5	0	97,5
Повышение уровня триглицеридов / APOA5 rs3135506, Intergenic rs12272004, LPL rs268, FADS1 rs174547, GCKR rs1260326, APOE rs429358 и rs7412	7,5	85	7,5
Омега 3, 6 жирные кислоты / FADS1 rs174547	12,5	47,5	40
Углеводный обмен / SLC30A8 rs13266634, TCF7L2 rs7903146 и rs12255372, KCNJ11 rs5219, PPARG2 rs1801282, ADRB2 rs1042713 и rs1042714	52,5	47,5	0
Особенности метаболизма витаминов			
Витамин А / BCMO1 rs12934922 и rs7501331	60	27,5	12,5
Витамин В6 / ALPL rs1256335, NBP3 rs4654748	37,5	45	17,5
Фолиевая кислота (витамин В9) / MTHFR rs1801133 и rs1801131	27,5	20	52,5
Витамин С / SLC23A1 rs33972313	0	0	100
Витамин Е / APOA5 rs3135506, Intergenic rs12272004	0	0	100
Витамин В12 / FUT2 rs602662	42,5	52,5	5
Витамин D / GC rs2282679, VDR rs1544410, DHCR7 rs12785878, CYP2R1 rs10741657	82,5	17,5	0
Пищевая непереносимость			
Непереносимость лактозы / LCT rs4988235	37,5	0	62,5
Непереносимость глютена / HLA-DQ2.5 rs2187668, HLA-DQ8 rs7454108	15	10	75
Метаболизм кофеина / CYP1A2 rs762551	12,5	47,5	40
Задержка натрия / ADD1 rs4961, CYP11B2 rs1799998, AGT rs699, ACE rs4340	95	2,5	2,5
Риск развития многофакторных заболеваний (метаболического синдрома, сахарного диабета 2 типа) / SLC30A8 rs13266634, FTO rs9939609, TCF7L2 rs7903146 и rs12255372, KCNJ11 rs5219, PPARG2 rs1801282, IL6 rs1800795	35	62,5	2,5

может быть ассоциировано с формированием метаболического синдрома [18, 19]. Так, по показателям ОТ, уровню общего холестерина или триглицеридов, более трети обследованных работающих, имеют метаболический синдром. По данным генетического анализа высокий риск метаболического синдрома также выявлен у трети работающих. Выявлена положительная ассоциация между генетической предрасположенностью к повышению уровня

ЛПНП и наличием установленного нарушения жирового обмена.

У 95% рабочих склонность к избыточному потреблению соли может сопровождаться задержкой жидкости, увеличивая риск повышения артериального давления [20], которое наблюдается у 20% обследованных.

По результатам ПМО фенотипически реализованный риск нарушения углеводного обмена выявлен у 21% обследо-

дованных, имеющих генетическую предрасположенность к сахарному диабету 2-го типа, что требует обязательной корректировки диеты, нормализации веса, динамического наблюдения за показателями метаболизма [21].

Дефицит аминокислот с разветвлённой боковой цепью, коэнзима Q10, витаминов B₁, B₂, B₅, B₃, B₉, липоевой кислоты по содержанию органических кислот может свидетельствовать о потребности организма в веществах для синтеза ферментов системы детоксикации, а также поддержания энергетического обмена [14, 15]. Недостаточное использование листовой зелени, которая является источником витамина B₉, а именно метильных групп для процессов детоксикации, значительно снижает этот процесс [22]. Нарушение процессов детоксикации усугубляется редким употреблением брокколи и цветной капусты, содержащих сульфорафан, способствующей выработке глутатиона. Высокое содержание метилглутимуровой кислоты, выделяемое с мочой, может быть биомаркером дисбаланса микробиоты кишечника или недостатка альтернативных источников метильных групп (бетанина из свёклы и злаков, холина из капусты и т. д.), необходимых для снижения повреждения ДНК при воздействии токсикантов [23].

Необходимо отметить, что 37,5% обследованных рабочих горнорудного предприятия имеют генетическую

предрасположенность к непереносимости лактозы, что требует изменения подхода к лечебно-профилактическому питанию (выдача молока) у данной категории рабочих.

В отличие от персонализированной медицины, где генетические и фенотипические данные используют для лечения заболеваний конкретного человека, в персонализированном питании эти данные используются для оптимизации питания и предупреждения развития заболеваний [24]. В соответствии с современными подходами в персонализированной нутрициологии на основании полученных данных были разработаны индивидуальные рекомендации по питанию и образу жизни [25].

Заключение. Выявленные индивидуальные фенотипические признаки нарушения в питании, полиморфизм отдельных генов, участвующих в метаболизме пищевых веществ и детоксикации, а также метаболический профиль обследованных рабочих предприятия по добыче полезных ископаемых могут свидетельствовать об истощении энергетических ресурсов, нарушении процессов детоксикации и функциональных возможностей организма, повышенном риске развития метаболического синдрома. Всё это диктует необходимость изменения корпоративной политики при организации питания, в том числе лечебно-профилактического с переходом на персонализированные диетологические рекомендации.

Список литературы (пп. 1–7, 9, 10, 13, 14, 19, 22–25 см. References)

8. Могилёнок Л.А., Рембовский В.Р. Роль генетического полиморфизма и различия в детоксикации химических веществ в организме человека. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(3): 255–262. <https://elibrary.ru/vtnper>
11. Драпкина О.М. и др. Российское общество профилактики неинфекционных заболеваний (РОПНИЗ). Алиментарно-зависимые факторы риска хронических неинфекционных заболеваний и привычки питания: диетологическая коррекция в рамках профилактического консультирования. Методические рекомендации. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021; 20(5): 273–334. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2952>
12. Кобелькова И.В., Коростелева М.М., Никитюк Д.Б., Крикун Е.Н. Частота потребления специализированных пищевых продуктов студентами спортивного вуза и нарушение принципов их введения в рацион питания. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023; 13(2): 84–92. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.10>
16. Золотарева Р.А. Гистидин: общие аспекты метаболизма. *Лучшая научно-исследовательская работа*. 2016. 2016: 240–243.
17. Гричук Н.Д. и др. Система здорового питания. Теория и методика физической культуры, спорта и туризма: межвузовский сборник научно-методических работ. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Санкт-Петербург, 2022: 28–31. <https://elibrary.ru/wruaou>
18. Маматов А.У. и др. Несбалансированное питание и его роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний. *The Scientific Heritage*. 2021; 65(2): 55–64.
20. Данилина К.С., Стеблецова Н.И., Поселюгина О.Б. Артериальная гипертония, осложнённая хронической болезнью почек (обзор литературы). *Верхневолжский медицинский журнал*. 2020; 19(3): 9–15. <https://clck.ru/3FecRh>
21. Курилова О.В. и др. Шкалы для оценки генетического риска развития сахарного диабета 2-го типа. *Профилактическая медицина*. 2021; 24(12): 115–22. <https://doi.org/10.17116/profmed202124121115>

References

1. Witzany G. Chapter 2: Key levels of biocommunication. In: Gordon R., Seckbach J., eds. *Biocommunication: Sign-Mediated Interactions between Cells and Organisms*. London: World Scientific Publishing Europe Ltd.; 2017: XXVIII–XXXI. (Accessed: October 4, 2024). <https://clck.ru/3FeaiP>
2. Rangayyan R.M., Krishnan S. *Biomedical signal analysis*. 3rd ed. Wiley-IEEE Press; 2024.
3. Hou L., Zhang X., Wang D., Baccarelli A. Environmental chemical exposures and human epigenetics. *Int. J. Epidemiol.* 2012; 41(1): 79–105. <https://doi.org/10.1093/ije/dyr154>
4. Furst A. Can nutrition affect chemical toxicity? *Int. J. Toxicol.* 2002; 21(5): 419–24. <https://doi.org/10.1080/10915810290096649>
5. Mathers J.C., Strathdee G., Relton C.L. Induction of epigenetic alterations by dietary and other environmental factors. *Adv. Genet.* 2010; 71: 3–39. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380864-6.00001-8>
6. Karabegović I., Portilla-Fernandez E., Li Y., et al. Epigenome-wide association meta-analysis of DNA methylation with coffee and tea consumption. *Nat. Commun.* 2021; 12(1): 2830. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22752-6>
7. Bush C.L., Blumberg J.B., El-Sohemy A., Minich D.M., Ordovás J.M., Reed D.G. et al. Toward the definition of personalized nutrition: A proposal by the American Nutrition Association. *J. Am. Coll. Nutr.* 2020; 39(1): 5–15. <https://doi.org/10.1080/07315724.2019.1685332>
8. Mogilenkova L.A., Rembovskiy V.R. Role of genetic polymorphism and differences in the detoxification of chemical substances in the human body. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95(3): 255–62. <https://elibrary.ru/vtnper> (in Russian).
9. Fung T.T., McCullough M.L., Newby P.K., Manson J.E., Meigs J.B., Rifai N., et al. Diet-quality scores and plasma concentrations of markers of inflammation and endothelial dysfunction. *Am. J. Clin. Nutr.* 2005; 82(1): 163–73. <https://doi.org/10.1093/ajcn.82.1.163>
10. Batat W. Eating for pleasure: An introduction of the healthy food experience pyramid. *Qual. Mark. Res.* 2019; 22(4): 530–43. <https://doi.org/10.1108/QMR-09-2019-190>

11. Drapkina O.M., Karamnova N.S., Kontsevaya A.V., Gorny B.E., Dadaeva V.A., Drozdova L.Yu., et al. Alimentary-dependent risk factors for chronic non-communicable diseases and eating habits: Dietary correction within the framework of preventive counseling. Methodological guidance. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2021; 20(5): 273–334 (in Russian). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2952>
12. Kobelkova I.V., Korosteleva M.M., Nikityuk D.B., Krikun E.N. Frequency of consumption of specialty food products by sports university students and violation of the principles of their introduction to the diets. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika*. 2023; 13(2): 84–92 (in Russian). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.10>
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): 743–60. <https://doi.org/10.1038/nprot.2011.319>
14. da Rosa M.S., da Rosa-Junior N.T., Parmeggiani B., Glänzel N.M., de Moura Alvorcem L., Ribeiro R.T., et al. 3-hydroxy-3-methylglutaric acid impairs redox and energy homeostasis, mitochondrial dynamics, and endoplasmic reticulum-mitochondria crosstalk in rat brain. *Neurotox. Res.* 2020; 37(2): 314–25. <https://doi.org/10.1007/s12640-019-00122-x>
15. Hargreaves I., Heaton R.A., Mantle D. Disorders of human coenzyme Q10 metabolism: An overview. *Int. J. Mol. Sci.* 2020; 21(18): 6695. <https://doi.org/10.3390/ijms21186695>
16. Zolotareva R.A. Histidine: General aspects of metabolism. In: *The Best Research Work — 2016: Collection of articles by the winners of the Fifth International Scientific and Practical Competition*. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ.; 2016: 240–3 (in Russian).
17. Grichukh N.D., Rogozhnikov M.A., Blazhennov V.M., Piskovitin V.E. The system of healthy eating. In: *Theory and Methodology of Physical Education, Sports and Tourism: Interuniversity Collection of Scientific and Methodological Works*. St. Petersburg: Polytech-Press; 2022: 28–31 <https://elibrary.ru/wruaou> (in Russian).
18. Mamatov A., Orozmatov T., Satybaldieva A., Stamkulova A., Zhailoobaeva G. Unbalanced nutrition and its role in the development of cardiovascular diseases. *The Scientific Heritage*. 2021; (65-2): 55–64 <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-65-2-55-64> (in Russian).
19. Abiri B., Valizadeh M., Nasreddine L., Hosseinpahan F. Dietary determinants of healthy/unhealthy metabolic phenotype in individuals with normal weight or overweight/obesity: A systematic review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2023; 63(22): 5856–73. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2025036>
20. Danilina K.S., Stebletsova N.I., Poselugina O.B. Arterial hypertension complicated by chronic kidney disease (literature review). *Verkhnevolzhskiy Meditsinskiy Zhurnal*. 2020; 19(3): 9–15 <https://clck.ru/3FecRh> (in Russian).
21. Kurilova O.V., Kiseleva A.V., Meshkov A.N., Sotnikova E.A., Ershova A.I., Ivanova A.A., et al. Scales for assessing the genetic risk of developing type 2 diabetes mellitus. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2021; 24(12): 115–22 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/profmed202124121115>
22. Boonma T., Navasumrit P., Parnlob V., Waraprasit S., Ruchirawat M. SAM and folic acid prevent arsenic-induced oxidative and nitrative DNA damage in human lymphoblast cells by modulating expression of inflammatory and DNA repair genes. *Chem. Biol. Interact.* 2022; 361: 109965. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.109965>
23. Dominguez-Salas P., Moore S.E., Cole D., da Costa K.A., Cox S.E., Dyer R.A., et al. DNA methylation potential: Dietary intake and blood concentrations of one-carbon metabolites and cofactors in rural African women. *Am. J. Clin. Nutr.* 2013; 97(6): 1217–27. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.048462>
24. Gibney M.J., Walsh M.C. The future direction of personalised nutrition: My diet, my phenotype, my genes. *Proc. Nutr. Soc.* 2013; 72(2): 219–25. <https://doi.org/10.1017/S0029665112003436>
25. O'Donovan C.B., Walsh M.C., Nugent A.P., McNulty B., Walton J., Flynn A., et al. Use of metabotyping for the delivery of personalised nutrition. *Mol. Nutr. Food Res.* 2015; 59(3): 377–85. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400591>

Сведения об авторах:

- Мажаева Татьяна Васильевна** ведущий научный сотрудник, заведующий отделом гигиены питания, качества и безопасности продукции, канд. мед. наук.
E-mail: mazhaeva@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8566-2446>
- Дубенко Светлана Эдуардовна** врач-диетолог, канд. мед. наук.
E-mail: dubenko@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8008-6024>
- Чернова Юлия Савастьяновна** младший научный сотрудник отдела гигиены питания, качества и безопасности продукции.
E-mail: chernovaus@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4248-8118>
- Сутункова Марина Петровна** Директор, д-р мед. наук.
E-mail: info@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1743-7642>
- Гурвич Владимир Борисович** научный руководитель, д-р мед. наук.
E-mail: info@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6475-7753>

About the authors:

- Tatyana V. Mazhaeva** Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Nutrition Hygiene, Food Quality and Safety.
E-mail: mazhaeva@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8566-2446>
- Svetlana E. Dubenko** Nutritionist at the Department of Nutrition Studies, Foods Quality and Safety Assessment, Cand. of Sci. (Med.).
E-mail: dubenko@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8008-6024>
- Julia S. Chernova** Junior Researcher at the Department of Nutrition Studies, Foods Quality and Safety Assessment.
E-mail: chernovaus@ymrc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4248-8118>

Marina P. Sutunkova

Director, Dr. of Sc. (Med.).

E-mail: sutunkova@ymrc.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1743-7642>

Vladimir B. Gurvich

Scientific Director, Dr. of Sc. (Med.).

E-mail: info@ymrc.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6475-7753>