

**В. В. Шилов, А. Н. Батян**

*«Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь*

## **ИСТОРИЯ И СТРАТЕГИИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ**

**Аннотация.** В последние десятилетия отмечается существенный рост метаболических нарушений, включающих инсулинорезистентность, атерогенную дислипидемию, артериальную гипертензию и ожирение. Важное место в процессе лечения этих заболеваний занимают диетические стратегии. Однако существующие в настоящее время диетические рекомендации основаны лишь на обобщении данных о потреблении питательных веществ у всех людей, но они не конкретизированы для каждого человека. Недавно была разработана новая концепция персонализированного питания, согласно которой диета становится фактором, ответственным не только за метаболические реакции организма, например постпрандиальные пики глюкозы, но и за другие факторы, важнейшим из которых является микробиота кишечника. Будущее персонализированного питания представляется в создании алгоритмов, основанных на характеристиках потребляемой пищи, биохимических параметрах, физической активности, генетической вариабельности и кишечной микробиоте. Все эти данные необходимы для прогнозирования определенного типа диеты для конкретного человека в соответствии с его потребностями и метаболическими особенностями. Персонализация – это тенденция, которая сохранится надолго. Подавляющее число потребителей считают персонализацию привлекательной. Большое количество крупных мировых компаний работает в этой области. Отрасль персонализированного питания делится на три сегмента: питание, активные инструменты измерения (диагностика) и услуги. Растущая распространенность здорового образа жизни станет движущим фактором роста рынка персонализированного питания.

**Ключевые слова:** персонализированное питание; нутригенетика; нутригеномика; микробиота; рынок услуг персонализированного питания.

**V. V. Shylau, A. N. Batijn**

*“International State Ecological Institute named after A.D. Sakharov”  
Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus*

## **HISTORY AND STRATEGIES FOR PERSONALIZED NUTRITION**

**Abstract.** In recent decades, there has been a significant increase in metabolic disorders, including insulin resistance, atherogenic dyslipidemia, arterial hypertension and obesity. Dietary strategies play an important role in the treatment of these diseases. However, current dietary recommendations are based only on summaries of nutrient intake data for all individuals and are not specific to each individual. Recently, a new concept of personalized nutrition has been developed, according to which diet becomes a factor responsible not only for the body's metabolic responses, such as postprandial glucose peaks, but also for other factors, the most important of which is the intestinal microbiota. The future of personalized nutrition appears to be in the creation of algorithms based on the characteristics of food consumed, biochemical parameters, physical activity, genetic variability, and intestinal microbiota. All of this data is needed to predict a certain type of diet for a particular person according to his needs and metabolic characteristics. Personalization is a trend that will continue for a long time. The vast majority of consumers find personalization appealing. A large number of large global companies are working in this area. The personalized nutrition industry is divided into three segments: nutrition, active measurement tools (diagnostics), and services. The growing prevalence of healthy lifestyles will be the driving force behind the growth of the personalized nutrition market.

**Key words:** personalized nutrition; nutrigenetics; nutrigenomics; microbiota; market for personalized nutrition services.

**Введение.** Дефицит питательных веществ в организме имеет долговременные последствия. Проблема состоит в том, что здоровая диета для одного человека может быть неадекватной

для другого, что в значительной степени обусловлено генетическими различиями между людьми. Персонализированные планы питания, использующие информацию об индивидуальных генетических и метаболических особенностях человека состоят из определенных пищевых продуктов и добавок. Персонализированное питание предлагает методы и решения, позволяющие понять эти проблемы и предпринять соответствующие шаги. В эпоху индивидуализации этот тренд коренным образом меняет способы употребления пищи. Некоторые метаболические расстройства связаны с изменениями в рационе питания, что приводит к ожирению и ряду сопутствующих заболеваний, включая резистентность к инсулину, гиперлипидемию, артериальную гипертензию, ожирение печени и др. [1]. Это предполагает, что тип потребляемых питательных веществ может способствовать или ослаблять эти отклонения.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для поддержания адекватного статуса питания несколько стран, основываясь на клинических и метаболических последствиях дефицита питания, 80 лет назад разработали рекомендации по питанию, чтобы предотвратить или избежать заболеваний, связанных с дефицитом питательных веществ [2]. Однако с появлением эпидемии ожирения стало очевидно, что представители различных групп населения имеют сходную метаболическую реакцию на питательные вещества. Этот факт свидетельствует о том, что необходимы новые рекомендации по питанию для предотвращения ожирения и сопутствующих ему заболеваний. Тем не менее, несмотря на эти усилия, проблемы, связанные с ожирением, все еще присутствуют в нашем обществе. В последнее десятилетие было продемонстрировано, что в человеческой популяции существует большая вариабельность эффектов, связанных с потреблением питательных веществ, особенно основных макроэлементов, углеводов, жиров и белков [3]. Эта изменчивость изменяет ответ на несколько факторов, таких как расход энергии, постпрандиальную гликемию, уровни циркулирующих липидов, особенно жирных кислот, триглицеридов и холестерина.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что индивидуальные различия в реакции на питательные вещества не учитывались ранее, поэтому диета для каждого человека должна быть индивидуальной. Это привело к появлению в последние годы новой концепции питания, называемой персонализированным питанием (рис.).



Рис. Персонализированное питание  
Fig. Personalized nutrition

Информация, полученная на основании данных диеты, физической активности, биохимических параметров крови, генетической изменчивости и микробиоты кишечника, интегрируется в алгоритм, который позволяет прогнозировать метаболический ответ человека, например, на

пики глюкозы после приема определенных продуктов, которые выбираются на индивидуальной основе для того чтобы сохранить вариабельность постпрандиального ответа в пределах нормы.

Основные усилия ученых были сосредоточены для определения того какие факторы следует учитывать для установления индивидуальности реакции на питательное вещество, пищу или диету. В начале 2000-х годов с помощью технологий молекулярной биологии появилась новая область питания названная геномикой питания, призванная понять, как питательные вещества регулируют метаболический ответ. Геномика питания имеет два аспекта, которые активно изучались последние три десятилетия - это нутригеномика и нутригенетика [4]. Нутригеномика изучает механизм действия питательных веществ на молекулярном уровне и то, как они регулируют экспрессию генов, включая реакции на транскрипционном, трансляционном и посттрансляционном уровнях. В настоящее время известно, сколько питательных веществ может избирательно регулировать экспрессию генов для клеточного использования этих пищевых компонентов. С другой стороны, цель нутригенетики состоит в том, чтобы определить, как организм реагирует на различные питательные вещества на основе генетических вариантов в геноме, называемых полиморфизмами [5]. Это отчасти объясняет, почему существуют люди с гипер-, нормо- или гипо-реакцией на метаболические эффекты, вызванные потреблением определенных питательных веществ или продуктов [6]. На основе концепций геномики питания были разработаны стратегии питания для лечения метаболических нарушений, связанных с ожирением. Ранее считалось, что генетическая изменчивость может повлиять на метаболическую реакцию конкретного человека на питательное вещество или пищу по сравнению с другими людьми. Однако, исследования популяции близнецов показали, что генетика является не единственным фактором, влияющим на реакцию человека на конкретную диету. Было замечено, что у близнецов, несмотря на их генетическое сходство, был дополнительный фактор, вызывающий изменения в их метаболических реакциях и поэтому один близнец мог получить пользу от одного типа диеты, а другой — нет [7].

К 2015 году для объяснения изменений метаболического ответа, наблюдаемых у разных людей, был включен новый фактор — это микробиота кишечника [8]. Микробиота определяется как бактериальное сообщество, обитающее в определенной среде. В организме существует несколько видов микробиоты, расположенных, в частности, на коже, во рту, носу, влагалище и кишечнике [9]. С появлением технологий секвенирования ДНК нового поколения стало возможным более подробно изучать таксономию микробиоты в различных средах. В частности, в кишечнике насчитывается от 1300 до 1400 видов, которые подразделяются на определенные типы, в основном *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia* и *Actinobacteria*, хотя есть и некоторые другие типы. *Bacteroidetes* и *Firmicutes* составляют более 80% бактерий микробиоты кишечника. Проведенные исследования показали, что микробиота кишечника оказывает большое влияние на развитие ожирения. Тип бактерий, присутствующих в кишечной микробиоте, зависит от множества факторов, включая тип родов (обычные роды или кесарево сечение), потребление антибиотиков и лечение некоторыми лекарственными средствами и др. [11-13]. Тем не менее, основным фактором, который изменяет микробиоту кишечника, является диета. Было установлено, что потребление диет с высоким содержанием простых углеводов и высоким содержанием жиров вызывает дисбаланс в микробиоте кишечника, называемый дисбиозом [14]. Дисбактериоз кишечной микробиоты вызывает слабовыраженное воспаление из-за метаболической эндотоксемии, что приводит к нарушениям углеводного и липидного обмена [15]. В последние годы изучается влияние различных факторов на постпрандиальную глюкозу крови. Было показано, что чрезмерная частота повышенных постпрандиальных пиков уровня глюкозы в крови является основной причиной развития диабета 2 типа и сердечно-сосудистых заболеваний [16]. Анализ проведенных исследований показывает, что факторами, влияющими на постпрандиальные пики глюкозы в крови являются состав потребляемой пищи, особенно богатой углеводами. В меньшей степени в этом процессе участвует генетика человека, и что очень важно — его кишечная микрофлора [17]. В настоящее время считается, что постпрандиальные пики глюкозы зависят почти исключительно от углеводной нагрузки потребляемых продуктов или их гликемического индекса. Однако влияние этих факторов не является абсолютным, поскольку тип микробиоты кишечника является очень важным фактором, определяющим дисперсию постпрандиальной пиковой реакции глюкозы. На основе информации о диете, соблюдаемой людьми, профилях их метаболических переменных в крови, антропометрических переменных, физической активности и кишечной микробиоте с помощью алгоритмов машинного обучения фактически можно предсказать, какой тип диеты должен соблюдать человек, чтобы значительно снизить постпрандиальные пики глюкозы [8]. Это начало разработки персонализированного питания, поскольку, интегрируя все переменные, которые способствуют полезному метаболическому ответу, можно будет предоставить людям индивидуальные ре-

комендации по типу пищи, которую следует потреблять, в зависимости от всех проанализированных и интегрированных переменных.

Важно учитывать, что рацион питания людей может существенно различаться в зависимости от страны или даже внутри страны от одного региона к другому, что может значительно изменить микробиоту кишечника [18,19]. Следовательно, персонализированное питание, как следует из его названия, не может быть обобщено из-за изменчивости микробиоты кишечника. Тем не менее, одно из наиболее многообещающих направлений исследований состоит в том, чтобы установить в микробиоте кишечника, какие именно бактерии влияют на метаболический ответ. Эти бактерии изучаются, чтобы определить наиболее активные метаболические пути и продуцируемые метаболиты, которые могут влиять на реакцию хозяина. Предполагается, что новый раздел науки, известный как метаболомика, прольет свет на то, почему определенные бактерии оказывают благотворное влияние на здоровье [20]. Еще одним очень важным аспектом для достижения персонализированного питания является модулирование микробиоты кишечника с помощью диеты с использованием продуктов, обладающих свойствами, способными изменять таксономию микробиоты кишечника для избирательного улучшения метаболизма человека [21]. Важно отметить, что нутригеномика и нутригенетика уже установили, как различные питательные вещества избирательно модулируют экспрессию генов. Это позволяет создавать комбинации пищевых продуктов, содержащих питательные вещества, которые синергетически стимулируют один или несколько путей экспрессии генов, что приводит к желаемому метаболическому эффекту. Такие комбинации пищевых продуктов, известные как диетические портфели или режимы питания, показали улучшение углеводного и липидного обмена у пациентов с ожирением или метаболическим синдромом [22, 23]. Следующим шагом является установление не только того, как питательные вещества или продукты питания влияют на аспекты нутригеномики и нутригенетики, но и интегрирование эти знания в то, как питательные вещества или продукты могут изменять микробиоту кишечника. В настоящее время активно изучается влияние на здоровье различных видов подсластителей и полисахаридов, а также различных видов пищевых жиров или масел, пищевых белков и биологически активных соединений, поскольку эти молекулы оказывают важное влияние на микробиоту кишечника и метаболизм хозяина [24, 25]. Интересным аспектом, который следует включить в персонализированное питание, является термогенез индивидуумов, особенно связанный с адаптивным термогенезом, который позволяет увеличить расход энергии. Увеличение расхода энергии является аспектом, имеющим большое значение для предотвращения положительного энергетического баланса, наблюдаемого при ожирении. Адаптивный термогенез связан с увеличением активности бурой жировой ткани, а также усилением дифференцировки белой жировой ткани в бежевую жировую ткань. Кишечная микробиота может стимулировать термогенез посредством активации бурой жировой ткани и превращения белой жировой ткани в бежевую жировую ткань и, как следствие, снижать массу тела [26]. Одним из аспектов, способствующих совершенствованию подхода к персонализированному питанию, является использование датчиков для определения колебаний биохимических показателей, таких как концентрация глюкозы в течение дня и ночи. Разработка новых программ для оценки изменений уровня циркулирующих свободных жирных кислот в будущем позволит установить взаимосвязь между ними и диетой, микробиотой кишечника и другими метаболическими параметрами.

Персонализированное питание — это большой бизнес. По прогнозам, объем мирового рынка персонализированного питания вырастет с 8,2 млрд долларов США в 2022 году до 16,4 млрд. долларов США к 2025 году. Ключевыми игроками на мировом рынке являются: Amway (США), BASF (Германия), DSM (Нидерланды), Herbalife Nutrition Ltd. (США), DNAfit (Великобритания), Care / of (США), Nutrigenomix (США), Zipongo (США), Viome (США), Habit (США) и Atlas Biomed Group Limited (Великобритания). Эти компании обладают высокой операционной и финансовой устойчивостью. Персонализация — это тенденция, которая сохранится надолго. Исследование потребителей, проведенное в США и Европе в 2019 году показало, что 90% респондентов считают персонализацию привлекательной. Отрасль персонализированного питания делится на три сегмента: питание, активные инструменты измерения (диагностика) и услуги. Сегмент питания включает диетические добавки, функциональные пищевые продукты питания и напитки. Меняющиеся предпочтения и растущая обеспокоенность о состоянии здоровья привели к увеличению числа потребителей, которые выбирают пищевые добавки. Люди все больше осознают дефицит питательных веществ, что является ключевым фактором, который будет стимулировать спрос на стандартные добавки (это витамины, травы и растительные вещества, минералы, белки и аминокислоты, жирные кислоты, пробиотики, волокна и специальные углеводы, а также другие продукты, включая пребиотики, каротиноиды, глюкозамин и т. д.). Такие продукты используются для улучшения функционирования различных органов и систем организма, психического здоровья и хоро-

шего самочувствия. Согласно прогнозам, на сегмент стандартных пищевых добавок будет приходиться большая доля рынка — до 50%.

Инструменты активного измерения — одна из самых новых областей персонализированного питания, к которой в последнее время растет интерес. В этот сегмент входят приложения, комплекты для тестирования, носимые устройства и другие подобные устройства. Носимые устройства обычно представляют информацию о физической активности и состоянии здоровья человека, включая потребление калорий и частоту сердечных сокращений, а также уровни стресса, режим сна и другие важные данные.

Сегмент услуг включает поставщиков графиков питания и режимов упражнений, поставщиков услуг по планированию питания, поставщиков медицинских услуг питания и компаний по доставке еды. Онлайн-платформы такие как Amazon Fresh и Habit предполагают услуги по созданию уникального диетического плана для человека. Для этого клиенты должны заполнить онлайн-анкету и отправить результаты анализа крови. Компания Habit (США) разработала набор для тестирования, ДНК и анализа крови и в домашних условиях [27]. После обработки данных персональный отчет показывает, как организм человека метаболизирует углеводы, жиры и белки, и информирует о предрасположенности к увеличению веса, чувствительности к кофеину и непереносимости лактозы. Затем составляется индивидуальный план питания, включая индивидуальные рецепты, а партнерство с AmazonFresh упрощает заказ ингредиентов. Две компании: израильская DayTwo и американская Viome используют данные микробиома для разработки персонализированных диет [28]. Исследования показывают, что люди по-разному реагируют на одни и те же продукты, что отражается в изменении уровня глюкозы в крови после их потребления. Это позволяет без лечения снизить высокий уровень глюкозы в крови и без лекарств контролировать такие заболевания как ожирение и диабет 2-го типа. InsideTracker (США) предоставляет персональный план корректировки питания с помощью диеты, добавок, физических упражнений и изменения образа жизни на основании измерения 40 биомаркеров в крови. Nutrigenomix (Канада), DNAFit и Fitness Genes (Великобритания), а также Thorne (США) рекомендуют заказчикам индивидуальные планы по питанию и рекомендации по физической активности на основе анализа генетических профилей и микробиома. В 2018 году Nestle S.A. в Японии предложила услуги по персонализированному питанию с использованием искусственного интеллекта и тестирования ДНК в приложении для смартфонов [29]. Сегодня у программы Nestle Wellness Ambassador 100000 пользователей. Программа позволяет пользователям отправлять фотографии блюд через приложение, которое затем рекомендует изменить образ жизни и использовать специально разработанные витаминные добавки для обогащения чая, смузи и других продуктов. Google в настоящее время на основе искусственного интеллекта также разрабатывает специальную программу, чтобы рекомендовать режимы тренировок, планы питания и другие советы по оздоровлению. Компания Gatorade разработала пластырь для кожи с чипом и «умную» бутылку Gx, которая измеряет и отслеживает уровень гидратации, чтобы доставить в организм человека необходимое количество жидкости и питательных веществ. Сканер продуктов питания Change4Life национальной службы здравоохранения Великобритании проверяет этикетки, чтобы определить уровень сахара, соли и насыщенных жиров. Были разработаны также и другие устройства для персонализации питания, например автоматический монитор приема пищи (AIM) — это носимое устройство, которое использует три различных датчика (движения челюсти, жеста рукой и акселерометр), предназначенное для отслеживания пищевого поведения, например, перекусов, ночного приема пищи или переедания. Другая разработка это — Lumen — устройство и приложение, предназначенное для оценки метаболизма в домашних условиях, использующее датчик CO<sub>2</sub> и расходомер. В Великобритании рестораны Vita Mojo уже сотрудничают с компанией DNAFit для доставки персонализированных блюд в рестораны. После предоставления клиентом мазка слюны и образца крови для анализа ДНК потребитель получает продукты, подобранные с учетом его индивидуальных особенностей. Эта тенденция сейчас распространяется повсюду. Многочисленные фитнес-центры, спа-салоны и тренажерные залы в США, Гонконге, Австрии, Испании уже берут мазки слюны у гостей еще до их прибытия, подбирая комплексное питание и режимы тренировок в соответствии с их индивидуальными потребностями. Здоровье на рабочем месте тоже становится персонализированным. В Сингапуре компания Smartfuture установила 20000 киосков, которые будут измерять ключевые показатели здоровья, такие как артериальное давление и уровень глюкозы в крови. На основании результатов работники получают индивидуальные рекомендации по питанию и фитнесу, а также возможность проконсультироваться со специалистом по телефону или на дому. Можно предположить, что в недалеком будущем умный холодильник сможет уведомить человека о продуктах, которые нужно ему купить, чтобы контролировать индивидуальный рацион, а службы доставки еды начнут специализироваться на удовлетворении самых взыскательных личных потребностей.

**Заключение.** Широко используемые в настоящее время причудливые диеты создали нации пищевых невротиков, и, если довести их до крайности, эта одержимость «чистым, здоровым питанием» может превратиться в расстройство пищевого поведения (орторексию). Кроме того, следует отметить тот факт, что традиционные «диеты» — коммерческие или домашние — не всегда устойчивы и, к сожалению, отрицательно влияют на метаболизм, в конечном итоге заставляя людей, сидящих на диете, набрать больше веса, чем они потеряли. Результаты исследований последних лет показывают, что качество пищи, а не количество или подсчет калорий, приводит к устойчивой потере веса, и неудивительно, что потребители ищут основанные на научных фактах решения для своего долгосрочного здоровья и благополучия. Персонализированные диеты могут положить конец разочарованию тех, кто стремится улучшить здоровье, например, путем отказа от молочных продуктов, кофе или глютен в ложной надежде, что это приведет к потере веса или улучшению самочувствия, когда на самом деле эти радикальные изменения могут быть совершенно неприемлемыми для организма. Индивидуальный подход к питанию основан на идее о том, что индивидуальные рекомендации по питанию могут значительно улучшить здоровье и снизить риск таких заболеваний, как ожирение, диабет 2 типа и сердечные патологии. Некоторым нужна индивидуальная еда, чтобы добиться хорошего состояния волос, ногтей и кожи. Другие хотят диеты, которые оказывают минимальное воздействие на окружающую среду. Растущая распространенность здорового образа жизни станет движущим фактором роста рынка персонализированного питания. Кроме того, беспокойный и напряженный образ жизни побуждает потребителей выбирать специализированные пищевые добавки, адаптированные к их конкретным потребностям. Рост доходов потребителей также будет способствовать увеличению их покупательной способности, что, в свою очередь, побудит их выбирать персонализированные диеты в соответствии с их предпочтениями. Однако, для создания прогностических алгоритмов и достижения этих целей требуется гораздо больше исследований.

#### Список использованных источников

1. *Collaborators, G.B.* Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years / G.B. Collaborators, A. Afshin, M.H. Forouzanfar et al. // *N Engl J Med.* — 2017. — Vol. 377. — P.13–27.
2. *Murphy, S.P.* History of nutrition: the long road leading to the dietary reference intakes for the United States and Canada / S.P. Murphy, A.A. Yates, S.A. Atkinson et al. // *Adv Nutr.* — 2016. — Vol. 7. — P.157–168.
3. *Abdelhamid, A.* High variability of food and nutrient intake exists across the Mediterranean dietary pattern—a systematic review / A. Abdelhamid, A. Jennings, R.P. Hayhoe et al. // *Food Sci Nutr.* — 2020. — Vol. 8. — P.4907–4918.
4. *Ordovas, J. M.* Nutrigenomics and nutrigenetics / J.M. Ordovas, V. Mooser // *Curr Opin Lipidol.* — 2004. — Vol. 15. — P.101–108.
5. *Torres, N.* Nutrigenomics as a tool in the prevention of lipotoxicity: the case of soy protein / N. Torres, I. Torre-Villalvazo, A. R.Tovar // *Rev Invest Clin.* — 2019. — Vol. 71. — P.157–167.
6. *Guevara-Cruz, M.* Effect of a GFOD2 variant on responses in total and LDL cholesterol in Mexican subjects with hypercholesterolemia after soy protein and soluble fiber supplementation. M. Guevara-Cruz, C.Q. Lai, K. Richardson et al. // *Gene.* — 2013. — Vol. 532. — P.211–215.
7. *Berry, S. E.* Human postprandial responses to food and potential for precision nutrition / S.E. Berry, A.M. Valdes, D.A. Drew et al. // *Nat Med.* — 2020. — Vol. 26. — P.964–973.
8. *Zeevi, D.* Personalized nutrition by prediction of glycemic responses / D. Zeevi, T. Korem, N. Zmora et al. // *Cell.* — 2015. — Vol. 163. — P.1079–1094.
9. *Kennedy, M. S.* The microbiome: composition and locations / M.S. Kennedy, E.B. Chang // *Prog Mol Biol Transl Sci.* — 2020. — Vol. 176. — P.1–42.
10. *Backhed, F.* The gut microbiota as an environmental factor that regulates fat storage / F. Backhed, H. Ding, T. Wang et al. // *Proc Natl Acad Sci U S A.* — 2004. — Vol. 101. — P.15718–15723.
11. *Dominguez-Bello, M. G.* Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns / M.G. Dominguez-Bello, E.K. Costello, M. Contreras et al. // *Proc Natl Acad Sci U S A.* — 2010. — Vol. 107. — P.11971–11975.
12. *Blaser, M. J.* Antibiotic use and its consequences for the normal microbiome / M.J. Blaser // *Science.* — 2016. — Vol. 352. — P.544–545.
13. *Medina-Vera, I. A.* dietary intervention with functional foods reduces metabolic endotoxaemia and attenuates biochemical abnormalities by modifying faecal microbiota in people with Type 2 diabetes / I. Medina-Vera, M. Sanchez-Tapia, L. Noriega-Lopez et al. // *Diabetes Metab.* — 2019. — Vol. 45. — P.122–131.

14. *Sanchez-Tapia, M.* Diet as regulator of gut microbiota and its role in health and disease/ M. Sanchez-Tapia, A.R. Tovar, N. Torres // Arch Med Res. — 2019. — Vol. 50. — P. 259–268.
15. *Cani, P. D.* Changes in gut microbiota control metabolic endotoxemia-induced inflammation in high-fat diet-induced obesity and diabetes in mice / P.D. Cani, R. Bibiloni, C. Knauf et al. // Diabetes. — 2008. — Vol. 57. — P.1470–1481.
16. *Cavalot, F.* Postprandial blood glucose predicts cardiovascular events and all-cause mortality in Type 2 diabetes in a 14-year follow-up: lessons from the San Luigi Gonzaga diabetes study. F. Cavalot, A. Pagliarino, M. Valle et al. // Diabetes Care. — 2011. — Vol. 34. — P.2237–2243.
17. *Sondertoft, N.B.* The intestinal microbiome is a co-determinant of the postprandial plasma glucose response / N.B. Sondertoft, M. Arumugam, J.K. Vogt et al. // PLoS One. — 2020. — Vol. 15, N9. — e0238648.
18. *Fontana, A.* Gut microbiota profiles differ among individuals depending on their region of origin: An Italian pilot study / A. Fontana, C. Panebianco, A. Picchianti-Diamanti et al. // Int J Environ Res Public Health. — 2019. — P. 164065.
19. *He, Y.* Regional variation limits applications of healthy gut microbiome reference ranges and disease models / Y. He, W. Wu, Y.M. Zheng et al. // Nat Med. — 2018. — Vol. 24. — P.1532–1535.
20. *Gibbons, S.M.* Defining microbiome health through a host lens / S.M. Gibbons // mSystems. — 2019. — Vol. 4. — P.1–119.
21. *Guevara-Cruz, M.* Improvement of lipoprotein profile and metabolic endotoxemia by a lifestyle intervention that modifies the gut microbiota in subjects with metabolic syndrome/ M. Guevara-Cruz, A.G. Flores-Lopez, M. Aguilar-Lopez et al. // J Am Heart Assoc. — 2019. — Vol. 8. — e012401.
22. *Guevara-Cruz, M. A.* dietary pattern including nopal, chia seed, soy protein, and oat reduces serum triglycerides and glucose intolerance in patients with metabolic syndrome/ M. Guevara-Cruz, A.R. Tovar, C.A. Aguilar-Salinas et al. // J Nutr. — Vol. 142. — P.64–69.
23. *Jenkins, D. J.* Effect of a dietary portfolio of cholesterol-lowering foods given at 2 levels of intensity of dietary advice on serum lipids in hyperlipidemia: a randomized controlled trial / D.J. Jenkins, P.J. Jones, B. Lamarche et al. // JAMA. — 2011. — Vol. 306. — P.831–839.
24. *Choi, Y.* Natural bioactive compounds as potential browning agents in white adipose tissue/ Y. Choi, L. Yu // Pharm Res. — 2021. — Vol. 38, N4. — P.549–567.
25. *Jardon, K. M.* Dietary macronutrients and the gut microbiome: a precision nutrition approach to improve cardiometabolic health / K.M. Jardon, E. E.Canfora, G.H. Goossens, E.E. Blaak // Gut. — 2022. — Vol. 71, N6. — P.1214–1226.
26. *Li, B.* Microbiota depletion impairs thermogenesis of brown adipose tissue and browning of white adipose tissue / B. Li, L. Li, M. Li et al. // Cell Reports. — 2019. — Vol. 26. — P.2720–2737.
27. *Collier, R.* The DNA-based diet/ R. Collier // CMAJ. — 2017. — Vol. 189, N1. — P.40–41.
28. *Leshem, A.* The Gut Microbiome and Individual-Specific Responses to Diet / A. Leshem, E. Segal, E. Elinav // mSystems. — 2020. — Vol. 5, N5. — e00665-20.
29. *Kussmann, M. F. Raymond M.* Affolter OMICS-driven biomarker discovery in nutrition and health / M. Kussmann, F. Raymond M. Affolter // Journal of Biotechnology. — 2006. — Vol. 124. — P.758–787.

#### Информация об авторах

*Шилов Валерий Викентьевич*, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета (ул. Долгобродская, д. 23/1, 220070, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: valery.shilov@gmail.com.

*Батян Анатолий Николаевич*, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой экологической медицины и радиобиологии «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета (ул. Долгобродская, д. 23/1, 220070, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: ant\_b@tut.by.

#### Information about authors

*Shilov Valeriy Vikentievich*, PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecological Medicine and Radiobiology, International State Ecological Institute named after A.D. Sakharov Belarusian State University (Dolgobrodskaya st., 23/1, 220070, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: valery.shilov@gmail.com.

*Batyán Anatoly Nikolaevich*, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Ecological Medicine and Radiobiology, International State Ecological Institute named after A.D. Sakharov Belarusian State University (Dolgobrodskaya st., 23/1, 220070, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: ant\_b@tut.by.