

УДК 614.2

ЗДОРОВЬЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМФОРТ И БЛАГОПОЛУЧИЕ ЧЕЛОВЕКА. ЧАСТЬ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМФОРТ – НОВЫЙ И СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ФАКТОР В ОХРАНЕ ЗДОРОВЬЯ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА

© 2024 г. С. В. Сучков^{1, 2, 7, 16}, Х. Абэ³, Ш. Мёрфи^{4, 5}, Д. Смит⁶, В. С. Полякова^{16, *},
Д. Шерман^{8–10}, А. П. Глинушкин¹¹, П. Барах¹², А. О. Терентьев¹¹, М. Тан¹⁵, А. Н. Суворов^{13, 14}

¹Российская академия естественных наук, Москва, Россия

²Российский университет медицины, кафедра клинической аллергологии и иммунологии,
Москва, Россия

³Онкологическая клиника Абэ, Токио, Япония

⁴Массачусетская больница общего профиля, Бостон, США

⁵Медицинская школа Гарварда, Бостон, Массачусетс, США

⁶Клиника Мэйо, Рочестер, Миннесота, США

⁷Нью-Йоркская академия наук, Нью-Йорк, США

⁸Европейская академия наук, Льеж, Бельгия

⁹Национальный центр научных исследований, Париж, Франция

¹⁰Университет Декарта, отделение химической фармакологии и генетики визуализации,
Париж, Франция

¹¹Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия

¹²Медицинская школа Университета штата Уэйн, Детройт, Мичиган, США

¹³Институт экспериментальной медицины РАН, Санкт-Петербург, Россия

¹⁴Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра микробиологии СПбГУ,
Санкт-Петербург, Россия

¹⁵Гериатрические учреждения здравоохранения и социального обеспечения Накада,
Накада Томе Мияги, Япония

¹⁶Университет мировой политики и права, Москва, Россия

*e-mail: med_nika2000@mail.ru

Поступила в редакцию 08.02.2024 г.

После доработки 09.02.2024 г.

Принята к публикации 13.02.2024 г.

Со времен зарождения человечества Человек по своей природе стремится к состоянию защищенности, стараясь сделать свое существование максимально комфортным. Соответственно среди множества факторов, влияющих на здоровье, комфорт и благополучие человека, важными являются качество окружающей микросреды и экологии, а также система здравоохранения и ресурсы здоровьесбережения. В этом плане экологическая безопасность, обладая системным характером, привносит в модель персонализированной и прецизионной медицины существенный вклад, оптимизируя состояние баланса во взаимосвязи природных, техногенных, физиологических и социальных процессов. Соответственно индивидуализированное питание и фармакоинтервенция в превентивно-профилактических целях, являясь важными инструментами сохранения здоровья, представляют собой интегративный подход, направленный на понимание взаимодействия между питанием и окружающей средой в рамках сформировавшегося или формируемого образа жизни. В данном обзоре будут рассмотрены основные составляющие охраны здоровья человека, а также их влияние на сохранение стабильности экобиоценозов.

Ключевые слова: персонализированная и прецизионная медицина, трансляционные разработки, нутрициология, биодизайн, биоинформатика, биотехнология, генетика

DOI: 10.31857/S0042132424030047, EDN: PRWWWQ

ВВЕДЕНИЕ

Персонализированная и прецизионная медицина (ППМ) как глобально обновляемая модель охраны здоровья получила и получает развитие благодаря адресному использованию индивидуализированных (пациент-ассоциированных) манипуляций с учетом влияния генетических, фенотипических и экспосомальных (внешнесредовых или экологических) факторов (Suchkov, 2019).

Интерактомика, сетевая медицина, системная биоинженерия и их место в реализации задач ТраМед

Особое внимание мы обращаем на два сверхновых раздела системной биологии – **интерактомику** и **сетевую биомедицину**, малоизвестные широкой аудитории, но, будучи феноменальными источниками идей, крайне значимые для развития сверхновых технологий в области здравоохранения, здоровьесбережения и биоиндустрии.

Именно сетевая биомедицина и ее уникальная ресурсная база радикально поменяли как наши традиционные представления относительно первичных причин и механизмов, рождающих ту или иную форму патологии на фоне взаимодействия индивидуума с сетевыми факторами окружающей микросреды, так и смысл применения лечебно-диагностических биопрепаратов в клинике.

Концепция же сетевой биомедицины гласит, что каждая клетка помимо генов, белков и миллионов метаболитов пронизана межгенными, межбелковыми и иными сетями взаимодействий (включая регуляторные) – **интерактомами**. И согласно определению, **интерактомика** (англ. **Interactomics**) – это дисциплина, находящаяся на стыке системной биологии и биоин-

форматики, которая занимается исследованиями белок-белковых взаимодействий и оценкой последствий этих взаимодействий для клетки (Goh et al. 2007; Taylor et al., 2009; Vidal et al., 2011; Lage, 2014; Ung et al., 2016; Huttlin et al. 2017; Bludau, Aebersold, 2020).

При этом, следуя философии модели **сетевой** структуры заболеваний человека, основанных на межмолекулярных и межклеточных взаимодействиях и отображаемых в интерактоме, родилась концепция интерактомного кластера, содержащего связанные между собой молекулярные субстраты болезни и названного **модулем** заболевания. И в дополнение к вышесказанному появившиеся в последние годы инструменты сетевой медицины сформировали основу для изучения взаимодействий биоконпонентов живой клетки и интерактомных (сетевых) механизмов конкретных заболеваний. Иными словами, сегодня развитие биосистем может быть смоделировано в виде сетевых структур, где типовые характеристики могут быть представлены как узлы, а отношения между этими характеристиками – как связи между такими узлами, выдавая в руки биодизайнера уникальную сетевую палитру для моделирования в живом макроорганизме динамического взаимодействия межмолекулярных, межклеточных, межтканевых и межорганов систем. Прогресс в этом направлении сыграл колоссальную роль в выявлении ассоциированных с заболеваниями системных мутаций, создав предпосылки для эффективного поиска высокоточных биомаркеров и конструирования на их основе таргетируемых биоконструкций с диагностической и терапевтической направленностью (Conte et al., 2020).

Сегодня уже не секрет, что, контактируя друг с другом, гены и их продукты образуют сложные сети взаимодействий внутри клеток – **интерактом** (рис. 1) как карту биологически значимых



Рис. 1. Интерактом сквозь призму сетевой биомедицины.

межмолекулярных и межклеточных взаимодействий (Cusick et al., 2005; Plewczyński, Ginalski, 2009; Przytycka et al., 2010; Ghadie et al., 2018).

Расположение кластеров на карте интерактома может дать профессиональному эксперту новую информацию о связях между заболеваниями и их патогенезом. Ибо у болезней с перекрывающимися кластерами, не имеющих общих патогенных белков, все равно обнаруживаются признаки сходства, иллюстрирующие на карте интерактома взаимосвязь между степенью перекрывания кластеров с частотой возникновения сходной симптоматики в ходе развития и прогрессирования ряда болезней (рис. 2а, б).

Кроме того, с возрастанием степени перекрывания кластеров растет и вероятность возникновения этих заболеваний одновременно. Пересечения кластеров для разных болезней

на карте интерактома помогут установить механизмы развития заболеваний на основе данных о более изученных. Со временем карта интерактома человека будет уточняться и мы сможем использовать ее для предсказания эффектов тех или иных мутаций и раскрытия новых терапевтических возможностей уже используемых препаратов.

Одно из основных предположений, вытекающих из вышесказанного о том, что болезни следует рассматривать как нарушение тесно взаимосвязанных интерактомных сетей, заключается в том, что болезни в высокой степени взаимосвязаны.

Среди известных сетевых (интерактомных) структур доминируют **межгенные сети** (Bebek, 2012; Costanzo et al., 2016; Wiredja, Bebek, 2017; Cui et al., 2022) (рис. 3а–в).

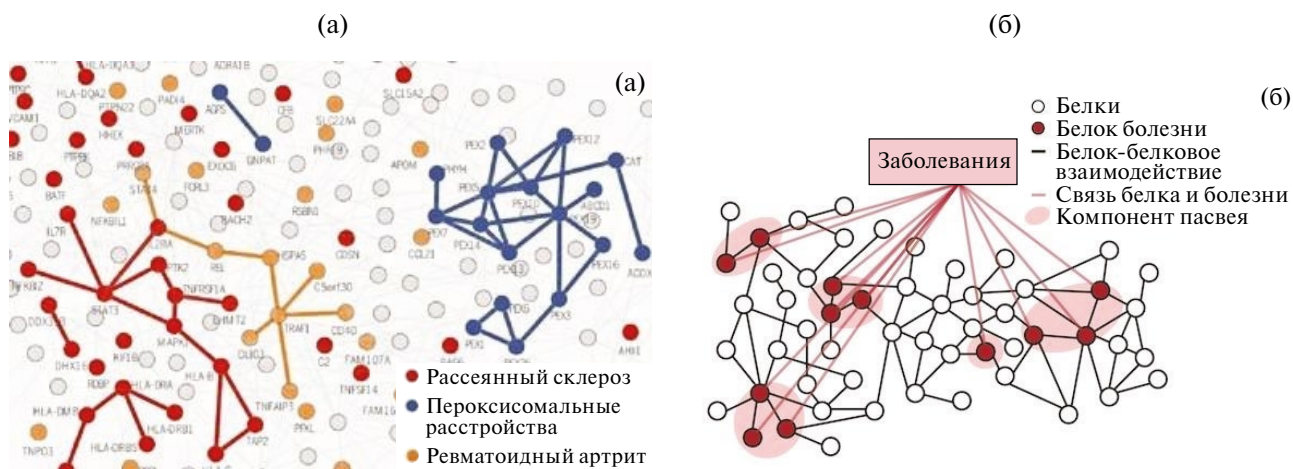
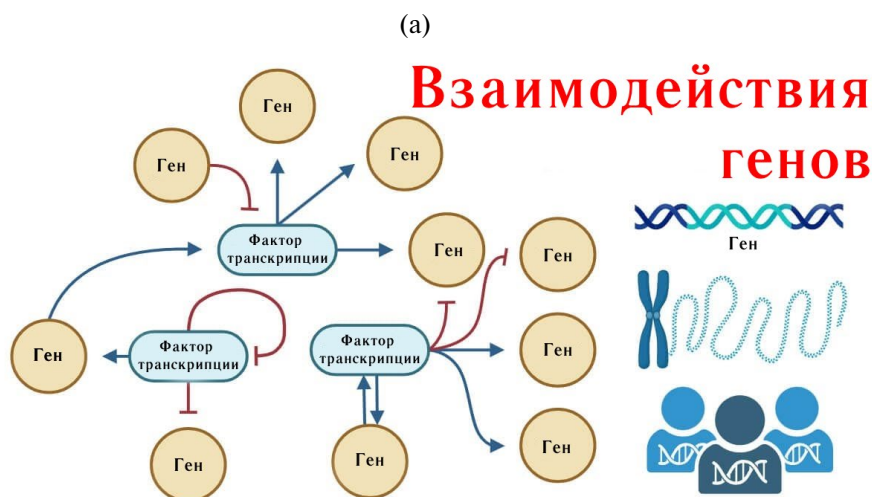
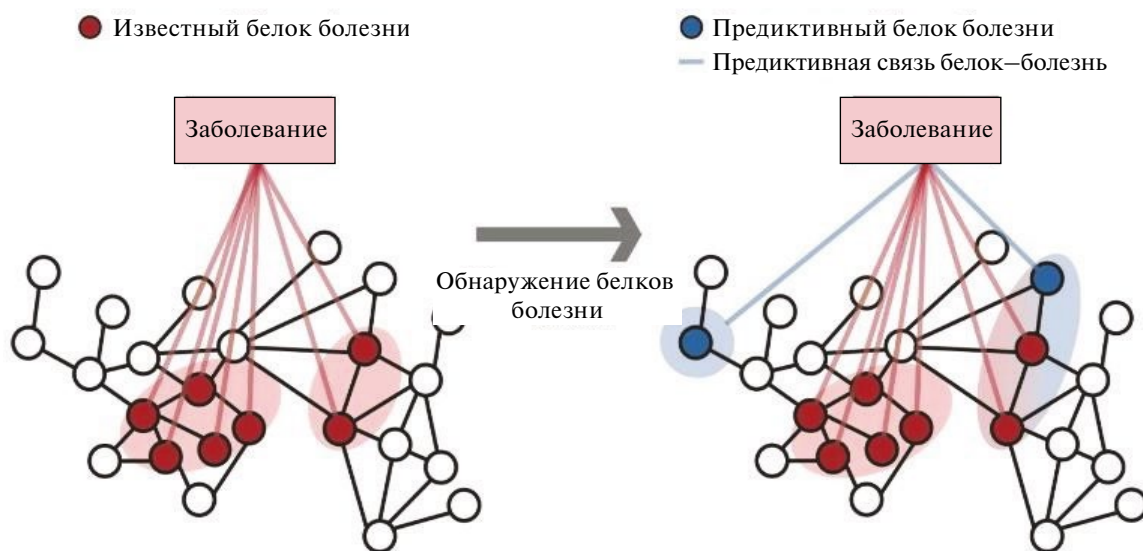


Рис. 2. Патологические кластеры на карте интерактома (а); интерактом и его особенности сквозь призму ассоциаций белок–болезнь (б).



(б)



(в)

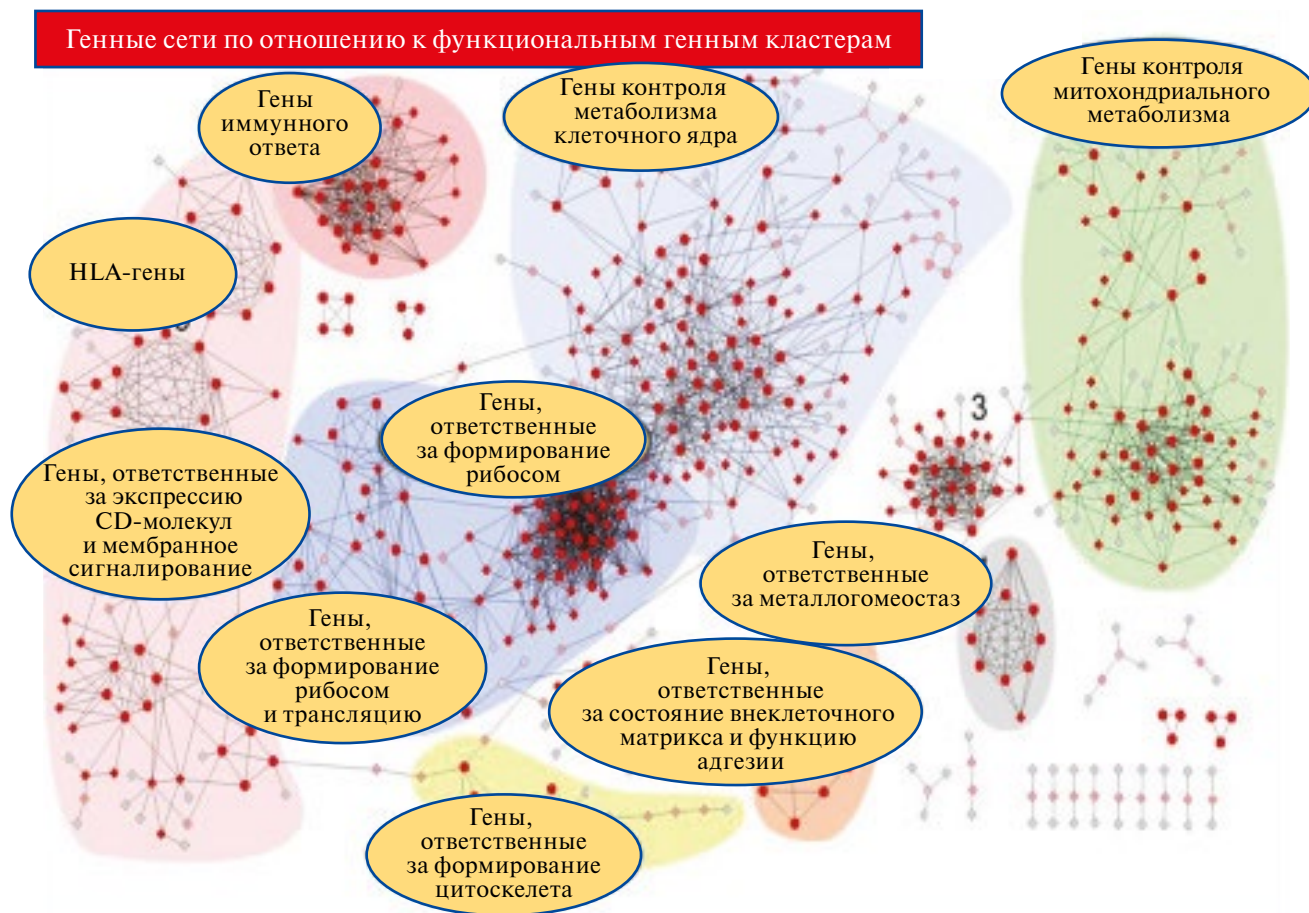


Рис. 3. Принципы межгенных взаимодействий при формировании генного интерактома (а); белки-предикторы как ключевые драйверы патогенеза заболевания (б); генные сети по отношению к функциональным генным кластерам (в).

Данные сети формируются генами и генными кластерами в целях группового контроля:

а) за работой сигнальных путей и метаболических каскадов;

б) протеканием в организме физиологических процессов;

в) формированием доклинических стадий типовых патологических процессов, например, предрака или преддиабета.

И именно в структуре интерактомных сетей специалистами клиники Mayo (США) были обнаружены огромные по размеру и объемам информации сетевые межбелковые инфраструктуры и их стратегические составляющие — **биомаркеры-интерактомы (сетевые биомаркеры/NBB и динамические сетевые био-**

маркеры/DNBB), замыкающие в своих границах большие массивы данных (Big Data), крайне значимые для функционирования регуляторных и метаболических путей и живых систем в целом. Они совершили космический рывок в отношении ресурсов систем здоровьесбережения и дизайнерской биотехнологии при создании биосистем с предиктивно-диагностической, превентивно-профилактической и лечебно-реабилитационной ориентацией (Kaiser et al., 2022). А конкретнее — для диагностики летальной формы лейкоза в индивидуальном порядке идентифицирована сеть, состоящая из 97 генов и 400 межгенных взаимодействий (рис. 4).

Соответственно случайная или индуцированная (обычно под действием патогена, онкогена

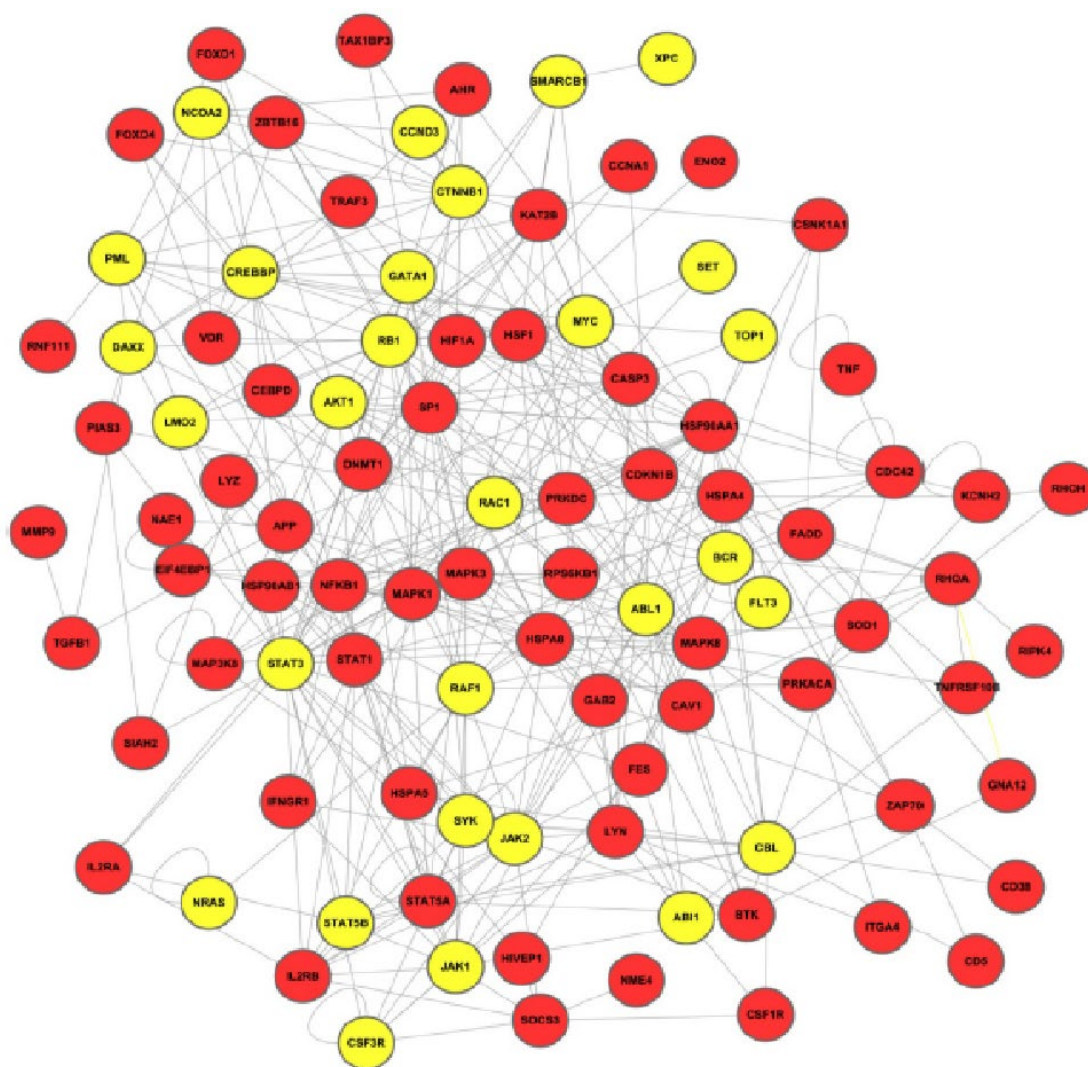


Рис. 4. Сетевые биомаркеры лейкоза (обозначены желтым цветом).

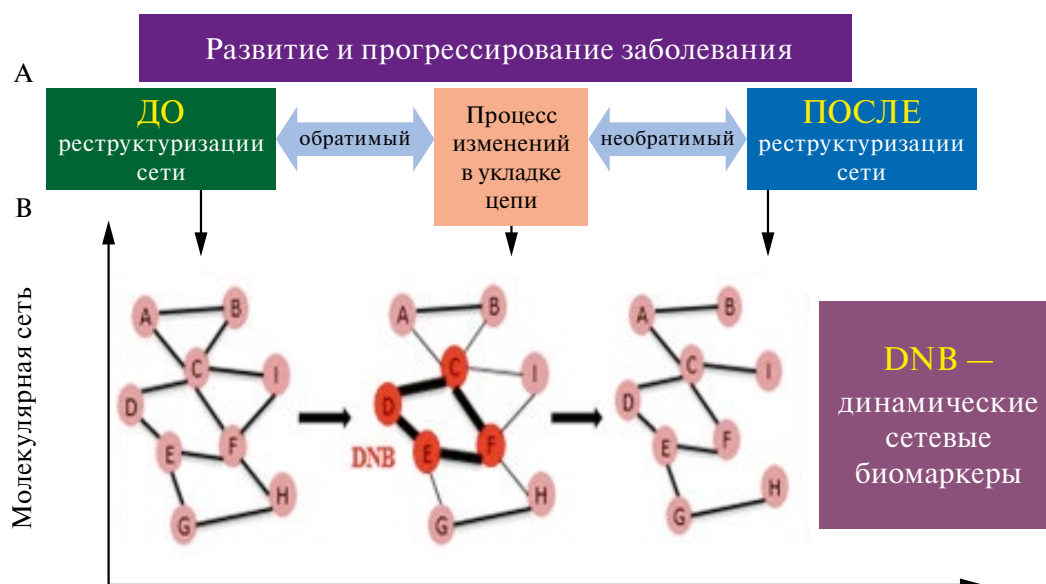


Рис. 5. Динамика формирования критических (переходных) состояний во внутренней укладке сети как стимул к рождению первой (доклинической) стадии заболевания.

или ЛП) реструктуризация внутренней укладки сетей обуславливает конформационный сдвиг с выраженной энтропийной динамикой, вызывая формирование семейства принципиально новых динамических сетевых биомаркеров (DNB), служащих природными индикаторами развития критических сдвигов и прогностическими инструментами для оценки характера и скорости прогрессирования патологического процесса (рис. 5).

Соответственно сетевые биомаркеры (NBBs) в отличие от биомаркеров-каноников стали источниками бикомпонентной информации, включая биомаркерные и сетевые взаимодействия между последними. Динамические сетевые биомаркеры (DNBBs) приглашают нас в трехмерный мир межмаркерного взаимодействия, отражая динамику сетевой инфраструктуры в ходе прогрессирования заболевания или на фоне терапевтического эффекта биофармацевтического продукта нового поколения (Fang, Chen, 2020).

Другими словами, сетевые биомаркеры могут с прецизионной точностью (безошибочно) дифференцировать три принципиально отличные друг от друга состояния — **здоровое (физиологическое)**, **больное (патологическое)** и **пограничное**, т.е. реально, генная сеть — это группа генов, координированное функционирование которых обеспечивает формирование определенного фенотипического признака организма. Характер-

ной особенностью организации генных сетей является их способность к саморегуляции за счет замкнутых регуляторных контуров с отрицательными и положительными обратными связями. А молекулярной основой существования таких регуляторных контуров является наличие сайтов-мишеней в ДНК, РНК и белках, с которыми могут взаимодействовать различные молекулярные компоненты генной сети и внешние регуляторные факторы. Благодаря этим двум типам регуляторных контуров возможно поддержание определенного функционального состояния генной сети или ее переход в другой режим функционирования, в том числе и под влиянием факторов внешней среды. А компьютерный анализ генов предрасположенности к комплексным заболеваниям с помощью баз данных и онлайн-инструментов биоинформатики позволяет строить сложные модели прогрессии заболеваний, определять потенциальные гены-мишени для терапии.

При этом любое хроническое заболевание проявляется не в нарушениях работы отдельных молекул или групповых скоплениях последних, а является прямым следствием отказа работы соответствующей сети или сетевого кластера (так называемым системным или сетевым патологическим синдромом), что можно рассматривать как совокупность взаимодействий между собой сетевых компонентов и сетей в целом.

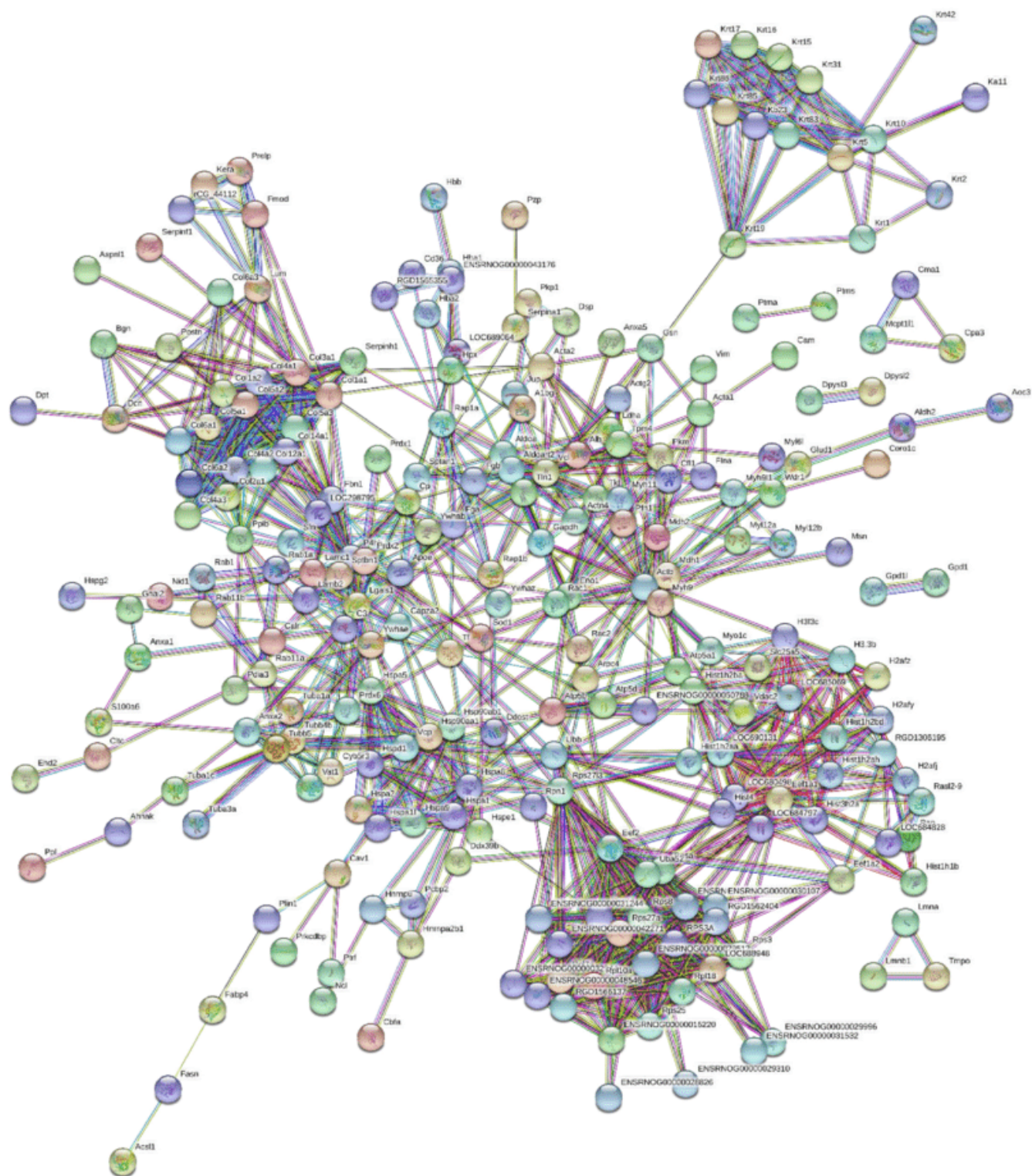


Рис. 6. Карта белок-белкового взаимодействия белков, идентифицированных в межфасциальном матриксе.

Особый интерес в работе с сетями представляют белок-белковые взаимодействия (ББВ) (Safari-Alighiarloo et al., 2014; Athanasios, 2017; Silverbush, Sharan, 2019; Karimizadeh et al., 2019; Chen et al., 2019) (рис. 6), хотя в реальности все типы взаимодействий связаны между собой. Например, ББВ содержат много ферментов, которые, в свою очередь, образуют метаболические сети, формируя протеомо-метаболомный интерактом. Аналогично сети регуляторных генов существенно перекрываются с сетями ББВ и сигнальными сетями, формируя на выходе геномно-протеомные интерактомы (Lin, Lai, 2022).

В протеомном интерактоме взаимодействующие компоненты (в данном случае белки) называются **узлами (nodes)** или **стержневыми белками (seeds)**, а взаимодействия между узлами отображаются линиями и называются **ребрами (edges)**. Узлы, к которым сходятся много ребер, называются **хабами (hubs)** (рис. 7а, б).

В интерактоме человека 650 000 взаимодействий (ребер) между 25 000 белками (узлами) формируют модули, играющие важную роль в заболеваниях и являющиеся крайне полезными инструментами для характеристики биологических процессов на глобальном уровне генерирования новых гипотез, которые могут быть дополнительно проверены и применены при создании лечебно-диагностических биофармакоконструкций.

И совершенно очевидно, что динамическая реструктуризация внутренней укладки сетей диктует биодизайнеру необходимость:

1) системного сравнительного анализа конфигураций физиологических и патологических состояний сетевых структур для идентификации максимально информативных сетевых биомаркеров в целях высокоэффективной и надежной диагностики, мониторинга и терапии;

2) разработки высокоточных (прецизионных) ЛП принципиально нового поколения для минимизации рисков патологической трансформации исходной (физиологической) конформации сетевой инфраструктуры в ее патологический аналог – ЛП с превентивно-профилактическим эффектом таргетной ориентации.

Соответственно межбелковые интерактомы и стали платформами для идентификации стратегических сетевых биомаркеров следующего поколения и создания на основе последних диагностических, превентивно-профилактических и лечебных биопрепаратов дня завтрашнего.

Учитывая высокий уровень сложности в интерпретации и практическом использовании ресурсной базы интерактомики, неудивительно, что интерактомные сети и сетевые взаимодействия в целом еще не полностью просчитаны. Но в скором времени станет доступен полный каталог вариантов последовательностей среди приблизительно 7 миллиардов человеческих геномов, живущих на Земле людей. При этом биоинформатика и математическое моделирование, и интерактомика в частности, будут иметь решающее значение для развития дизайнерских проектов в сфере трансляционных исследований и разработок (ТрИиР).

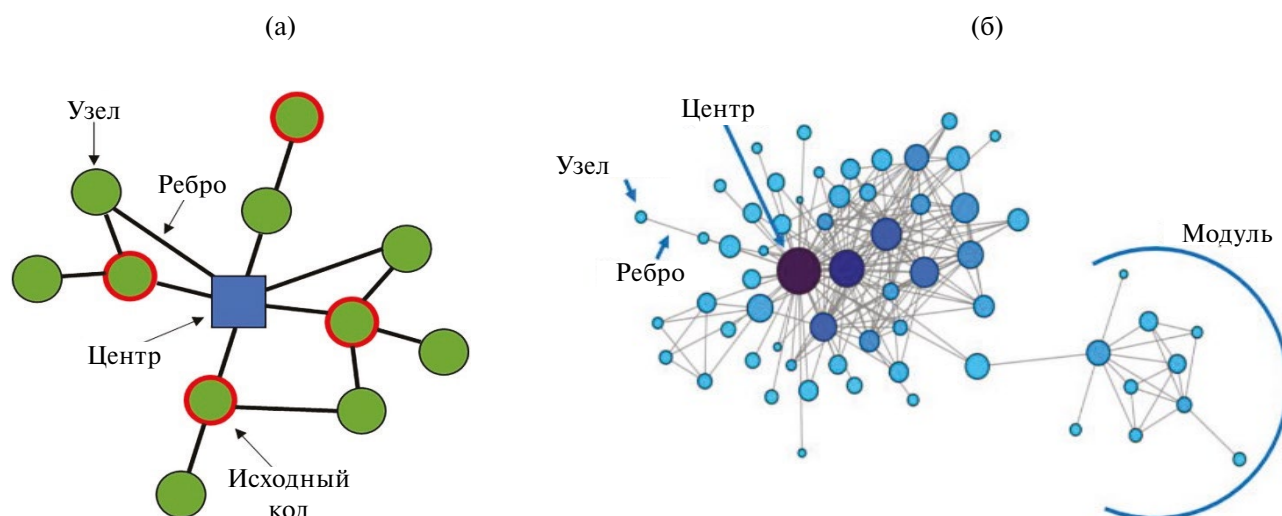


Рис. 7. Схематическое представление компонентов сети (а); пример сети с указанием узлов, ребер, центрально расположенных генов (концентраторов) и групп тесно связанных генов (модулей) (б).



Рис. 8. Цифровой сервис подбора рациона персонализированного питания.

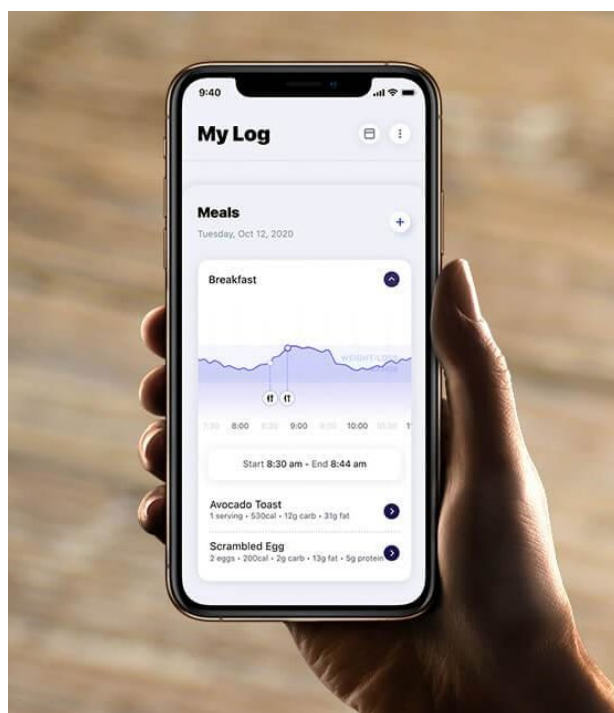


Рис. 9. Программные сенсорные пакеты Signos и MINA.

Персонализированная нутрициология, молекулярная гастрономия и прецизионная фудомика в реализации задач ТраМед

Исключительную привлекательность для инвесторов составляют тенденции, ориентированные на биологизацию дизайнерских IT- и нано-сенсорных технологий, открывающие широкие возможности по созданию миниатюрных сенсорных и калькуляторных нанобиоустройств, способных работать внутри живого организма и одновременно в контакте с окружающей природой (Fernandez, Raine, 2021) (рис. 8).

Такого рода устройства встраивают в живой организм для детекции заболеваний или применяют в работе с пищевыми продуктами, а также используют для мониторинга основных метаболических процессов с обработкой аккумулируемых данных и принятием обоснованных врачебных или ветеринарных решений. Среди них – программные сенсорные пакеты Signos, MINA (Mixfit Intelligent Nutrition Assistant) и Seahorse (рис. 9, 10).

Они гарантируют для обученных клиентов: а) контроль за основными метаболиче-



Рис. 10. Программный сенсорный пакет Seahorse.

скими процессами по динамике базовых показателей крови и б) поиск оптимальных модификаций в режимах питания (Signos) или обеспечивают специалистов-диетологов и фуд-дизайнеров разработкой индивидуальных протоколов персонализированного (как здорового, так и функционально-сбалансированного или специализированного) питания в почасовом, суточном и месячном режимах и, соответственно, готовыми к употреблению обоснованными решениями (MINA).

Не менее значим для ежедневной практики среди группы пациентов и лиц из групп риска сенсорный пакет Seahorse (рис. 10). Данный гаджет гарантирует: а) отслеживание уровня гликемии; б) контроль за основными метаболическими процессами по динамике базовых пока-

зателей крови (для спортсменов и лиц, работающих в стрессовых и экстремальных ситуациях) и в) поиск оптимальных рационов и режимов питания в состоянии отдыха и спорта.

Особую роль в реализации задач в сферах охраны здоровья и здоровьесбережения играют нутрибио- и агробиодизайн, а также ассоциированные с ними нутрибио- и агробиоинженерия. К инновационным продуктам последних следует отнести нутрицевтики-функционалы, БАДы, специализированные пищевые добавки, витамины и минералы, а также таргетные пре-, про- и метабиотики (включая мультиштаммовые) с превентивно-профилактической ориентацией.

Возвращаясь к нутрицевтикам, следует подчеркнуть, что нутрицевтические биомаркеры



Рис. 11. Нутрицевтические биомаркеры в практике врача-нутрициолога и профилактике заболеваний с наследственными и алиментарными формами патологий.

отражают реакцию геномно-конституционального ландшафта организма на поступление в организм пищевых ингредиентов с последующим влиянием продуктов их расщепления на экспрессию адресных наборов генов (включая гены, отвечающие за метаболизм жирных кислот). Соответственно для оценки поставленных целей и задач врач-нутрициолог использует комбинацию методов липидомики, метаболомики, геномики и протеомики при построении карт взаимодействий между липидными профилями и характером экспрессии генов у пациентов с различными формами заболеваний в целях идентификации надежных **нутриобиомаркеров**, иллюстрирующих значимые биологические процессы, патологические сдвиги в организме обследуемого лица и эффективность проводимой фармако- и диетотерапии (Matthews, Norman, 2021) (рис. 11).

В этом ключе следует особо подчеркнуть поколение интегративных сетевых биомаркеров, способных обосновывать комплексные оценки не только поглощения пищевых ингредиентов, но и их метаболизма, открывая дорогу для аналитической работы над участием пищевых рационов и специализированных диет-протоколов в провоцировании тех или иных форм заболеваний и обнажая влияние процессов переваривания пищи и продуктов переваривания на системы мета- и эпигеномного контроля. Диет-значимые интерактомы могут различаться в тканях и по стадиям развития, являясь по-

лезными инструментами для характеристики системных физиологических и патологических процессов на глобальном уровне и для генерирования платформ в ходе создания дизайнерских фарма- и нутрицевтиков новых поколений.

Резюмируя вышесказанное относительно ценности нутригеномного профилирования и его вклада в развитие персонализированной нутрициологии, прецизионной фудомики и кастомизированных диет для целевых групп индивидуумов (больные дети, спортсмены, лица в экстремальных ситуациях), следует подчеркнуть, что огромную роль в превенции и профилактике хронических заболеваний и оптимизации диетического рациона для специализированных групп потребителей играют технологии и протоколы **прецизионной фудомики** (рис. 12а, б) (Vimalaswaran et al., 2015; Ferguson et al., 2016; Chaudhary et al., 2020; Osada, 2023).

Именно ресурсы персонализированной нутрициологии и прецизионной фудомики реализуют прямую зависимость компонентов рациона от картины эпигеномного метилирования ДНК (геномный фактор) с одной стороны и метаболического баланса (феномный фактор) – с другой (рис. 13).

При этом стратегическая цель фуд-дизайнера – чтобы потребитель мог есть ТО, что принадлежит только ЕМУ, но получая визуальное, тактильное, вкусовое и чувственное удовольствия и одаривая себя ментальным осознанием того,

(а)



(б)

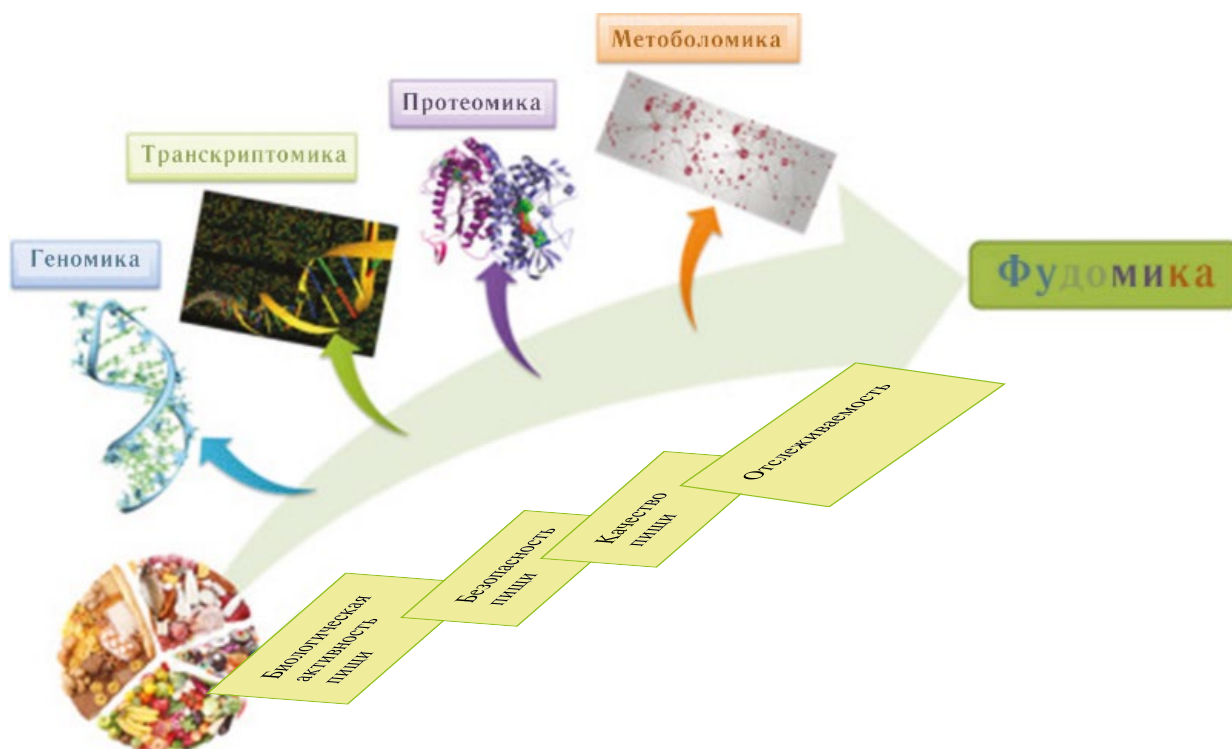


Рис. 12. Архитектура фудомики (а); архитектура фудомики с позиций ОМИКС-технологий (б).

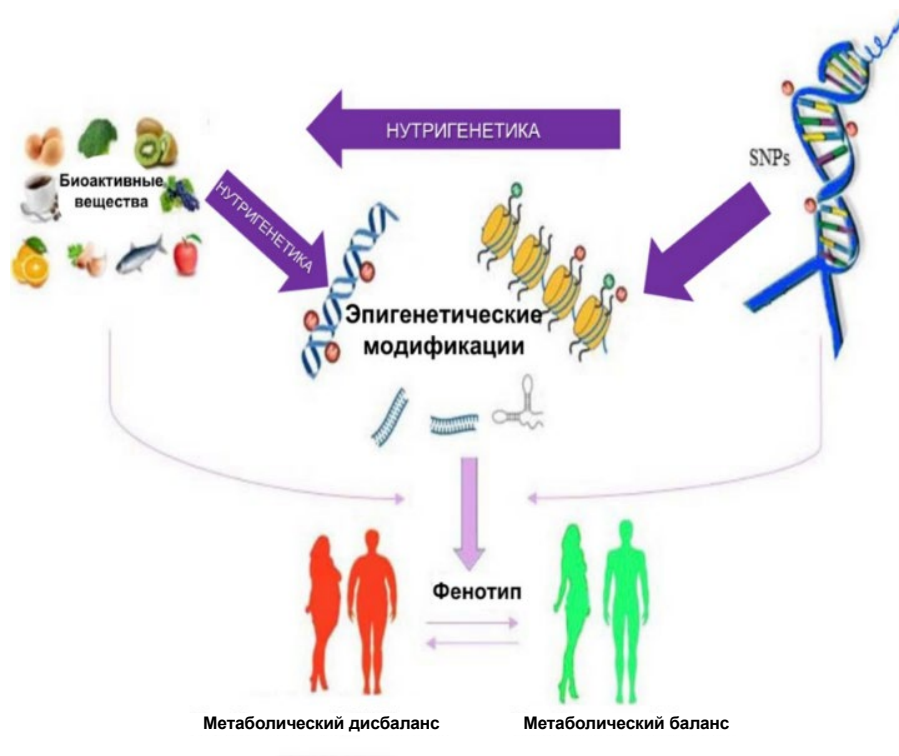


Рис. 13. Перспективы персонализированной нутрициологии и прецизионной фудомики: взаимоотношения между геномным ансамблем, компонентами диеты, обменом веществ и здоровьем.

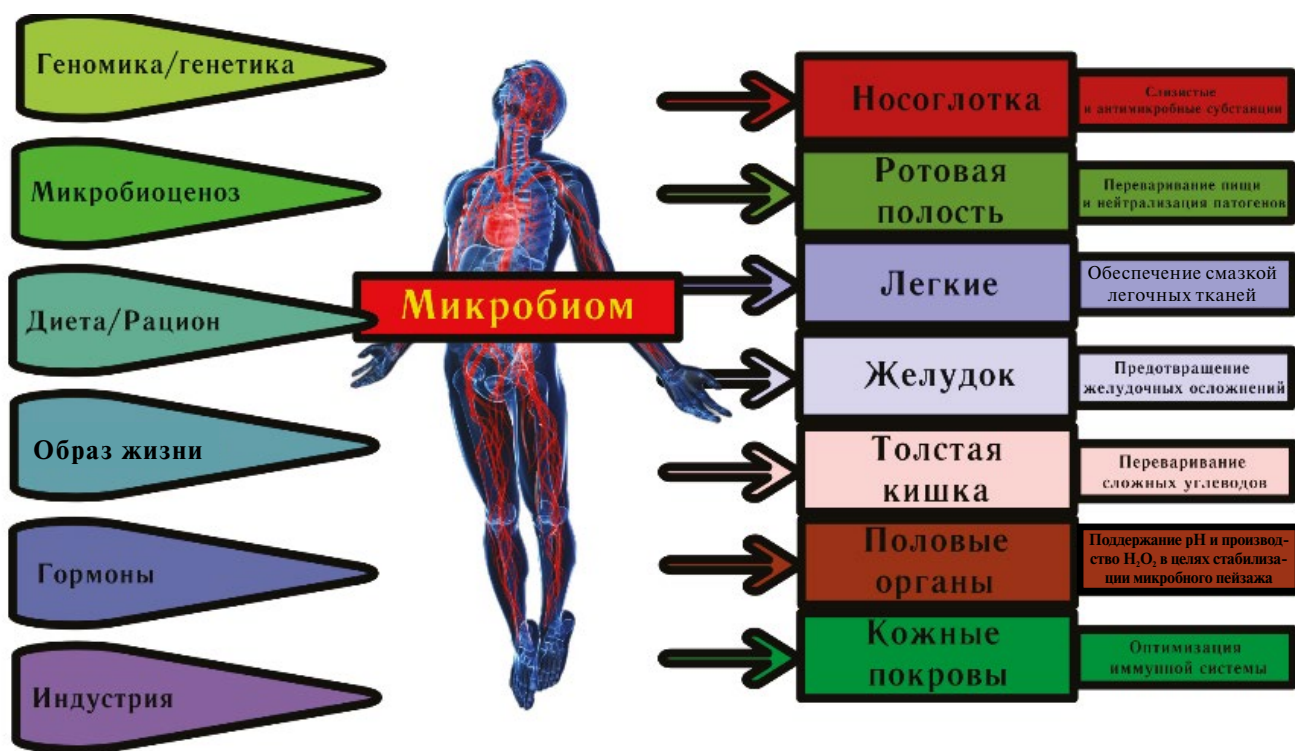


Рис. 14. Эталонный микробиом сквозь призму взаимоотношений с режимом питания, отдыха и микроокружением.

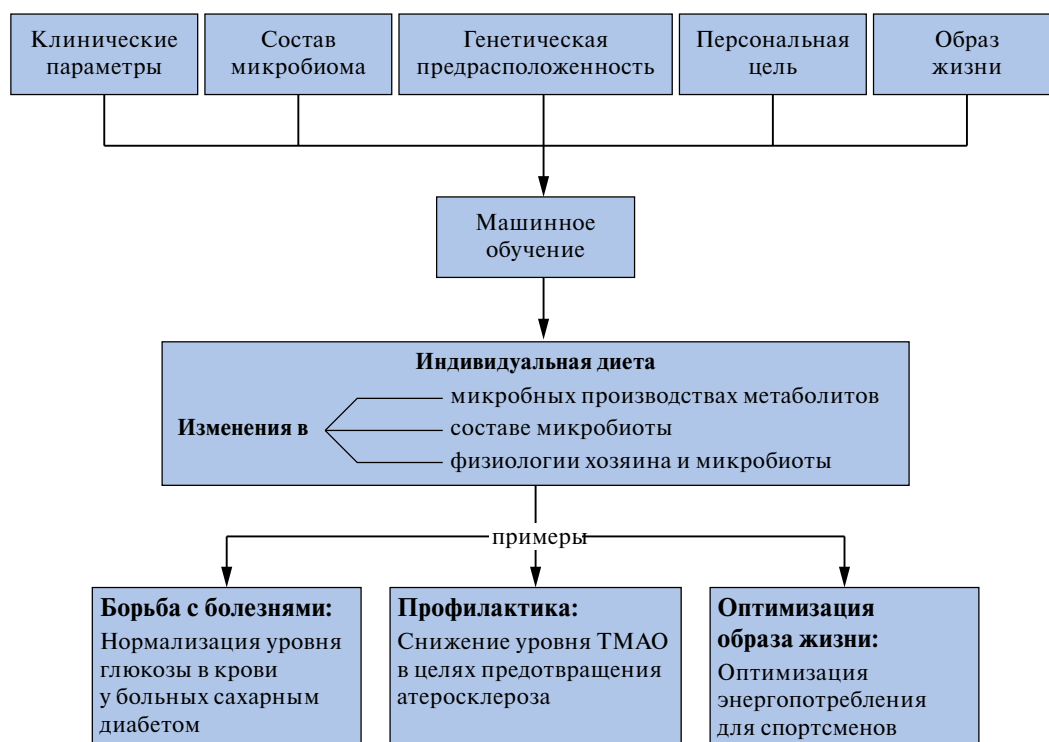


Рис. 15. Дизайн диеты на основе спектров микробиоты.

что происходит с едой и с ним лично в процессе ее поглощения. А еще точнее и глубже, фуд-дизайнеру будущего нужен иной взгляд на питание в целом, акцентируя осевое внимание на тройке **потребитель—еда—микробиоценоз**, просчитывая для каждого индивидуума помимо прочего и “эталонный” микробиом (рис. 14).

Соответственно **персонализированная нутрициология** (в паре с нутригеномикой) и **прецизионная фудомика** в едином тандеме рассматриваются как инновационный взгляд на здоровое питание, основанный на оценке взаимодействий между геномами трех типов: а) геномами употребляемых в пищу организмов; б) геномами эндо-микробиоты и в) геномом человека-потребителя, служащего хозяином для вышеуказанных геномных наборов.

Интеграция этих индивидуальных показателей хозяина и эндомикробиома в единые рабочие модули эффективно дополняет устаревшие и исчерпавшие свой потенциал традиционные подходы к оценке диетологических паттернов и определяет спектр пищевых продуктов при разработке индивидуализированных диет с прецизионной гастрономией в рамках программы по управлению собственным здоровьем (ПУСЗ) (Di Renzo et al., 2019).

Таким образом, сгенерированные диетой микробиомные, эпи- и метабеномные сдвиги могут быть использованы для разработки сбалансированных протоколов персонализированных диет и, соответственно, оптимизации физиологического здоровья клиента-хозяина с профилактикой заболеваемости. А обеспеченная экспертом-диетологом и фуд-дизайнером целевая персонализация диет и рационов направлена, помимо прочего, и на выявление ключевых особенностей микробиома, используя для этих целей соответствующие ИТ-алгоритмы и базы данных (рис. 15).

Подытоживая вышесказанное, следует упомянуть о дизайнерской разработке находящегося на стадии апробации уникального полифункционального нутригенетического теста GENOMEX, способного определять индивидуальную предрасположенность к ожирению путем математической оценки взаимоотношений между генами-драйверами и провоцирующих ожирение факторов, а также безошибочно рекомендуя клиенту спектр лечебных манипуляций по коррекции избыточного веса, предлагая для этих целей строго индивидуализированные диет-протоколы.

Соответственно в сегментах, например, детства, активного школьного возраста, творческой юности и студенчества, плодотворного среднего возрастного периода и креативного долголетия обоснованная итогами мультигеномного тестирования персонализированная диетотерапия становится ориентированной на оптимизацию продуктивного потенциала личности в соответствии с вышеуказанным возрастным диапазоном, повышая тем самым планку возраста и средней продолжительности жизни современного человека и предоставляя ему ряд гарантий.

При этом система поддержки принятия врачебных решений (СППВР) обеспечивает информационное сопровождение врача при обследовании и ведении пациента, будучи ориентированная на принятие обоснованных (врачебных и нутрицевтических) решений. А интеграция СППВР, электронных медицинских карт (ЭМК), историй болезни (ИБ), индивидуализированных диет-протоколов и кастомизированных рационов, а также медицинских регистров (MedReg) в целом оказывает для здоровьесберегающих технологий высококачественную помощь, оказание которой минимизирует потенциальные и прогнозируемые риски и угрозы здоровью конкретных индивидуумов или популяций, проживающих в определенных регионах, биоценозах и даже эпидочагах. Соответственно на любой из стадий болезни или предболезни генетическое тестирование дает возможность получать информацию об индивидуальном риске, выявляя патологический процесс на его доклинической стадии и далее обеспечивая эффективный и своевременный контроль по предикции и прогнозированию стадий прогрессии, рисков осложнений, угроз рецидивов и эффектов от лекарственных и нутрицевтических биопрепаратов.

Масштабы индивидуальных рисков определяются специальными расчетами на основе валидированных панелей биомаркеров с использованием соответствующих алгоритмов и программ и требуют своевременной и эффективной коррекции. Финальные итоги предиктивно-прогностического, диагностического и мониторингового тестирования используются в создании единых информационных баз (электронных историй болезни и медицинской документации, а также биобанков), необходимых для системного обеспечения мониторинга индивидуального здоровья (с использованием мобильных телесистем и облачных технологий). Более точно, мы на пути к использованию риск-ориентирован-

ной предиктивно-прогностической и мониторинговой диагностики дня завтрашнего.

И, соответственно, стратегическим сегментом построения эффективной биозащиты (индивидуального, популяционного и национального плана) становится глобальная система мониторинга продовольственной и лекарственной безопасности с учетом отдельных (интегрируемых) показателей хронической заболеваемости, обеспечивая данный вид сервиса соответствующей инженерной инфраструктурой и инструментами контроля за рисками развития регионов с эпидочагами, массовыми недоеданиями и отравлениями.

Персонализированная нутрициология, молекулярная гастрономия и прецизионная фудомика, делающие свои первые пионерские и осторожные шаги, уже объединяют широкий круг врачей-клиницистов, молекулярных экспертов-диетологов и фуд-дизайнеров, разработчиков алгоритмов и создателей банков данных, сетевые госпитальные и поликлинические структуры, школы и детские сады, а также службы по уходу, фитнес-центры и множественные ритейл-точки (магазины, разносчики пищевых заказов, рестораны и др.). И естественно становится очевидной редкая по масштабу, но дружественная и одновременно коммерческая кооперация частных инициатив и широкой поддержки со стороны социума в форме общественно-частного партнерства, активно стимулирующая претворение в реальной практике технологических инноваций персонализированной нутрициологии, прецизионной фудомики и фуд-дизайна как стратегического сегмента охраны здоровья и здоровьесбережения в целом (Marcum, 2020).

Соответственно в рамках консенсуса между учеными-исследователями, экспертами-дизайнерами, врачами-клиницистами, лидерами в сфере пищевой биоиндустрии, а также политиками и стратегами мы способны продвигать на рынок глобального здорового питания уникальную ресурсную базу персонализированной нутрициологии, прецизионной фудомики и пищевой биоиндустрии, оптимизируя при этом пути доступа к вышеуказанным секторам. Ибо именно эти сектора, существенно влияющие на системы здоровьесбережения и состояние агропродовольственного рынка, ошутимо затрагивают национальную биобезопасность, выступая серьезным гарантом: продовольственной безопасности, стабильности национальных генофондов и позиций России в мировом рыночном пространстве глобального питания.

Итак, мы начинаем понимать, что ППМ как модель следующего поколения безупречно интегрировала в фундаментальные, клинические, инженерно-дизайнерские и IT-сектора современной науки, демонстрируя источники интеграции новейшего технологического инструментария сквозь призму целей и задач практической медицины и здоровьесбережения.

Биоинформатика, математическое моделирование и их место в реализации задач ТраМед

Современные медицина, принципы профилактики и охраны здоровья остро нуждаются в инновационном инструментарии, а также ЛП и нутрицевтических средствах принципиально новых поколений, гарантом которых становится ТраМед, в пакете которой весомое место заняла **биоинформатика**, основанная на принципах системной и структурной биологии, обеспечив сущностный прорыв в контроле за поведением сложных биологических систем с одной стороны и математическом моделировании динамики сетевых инфраструктур — с другой (Tenenbaum, 2016; Vano et al., 2020; Taguchi, 2023).

Большинство из задач здоровьесбережения, экологического комфорта и благополучия уже решаются в рамках уникальных ресурсов биоинформатики (алгоритмов искусственного интеллекта, машинного обучения и блок-чейна), обеспечивая феноменальный способ обработки, майнинга и интерпретации огромного (Гулливера) массива данных (Big Data) и позволяя:

а) реконструировать геномные коды (что в перспективе важно для биодизайна и ТраМед в целом);

б) выявлять информацию в виде сигналов и кодов, необходимую для формирования следующих уровней экспрессии генов и их продуктов — протеома и метаболома;

в) конструировать модели современных предиктивно-диагностических инструментов и таргетных ЛП и нутрицевтиков следующих генераций.

Так, в частности, с помощью программно-инструментария искусственного интеллекта и алгоритмов, которые обрабатывают миллионы молекулярных структур, оцениваются потенциальные свойства фармацевтических и нутрицевтических биоконструкций, оценивая данные о том, как ЛП или БАДы действовали в прошлом, тем самым самообучая рабочую платформу и наделяя последнюю перспективной ресурсной базой (Choi et al., 2020).

Применение ресурсов искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет: 1) серьезно повысить точность диагностики; 2) сделать реальным рождение сверхэффективных персональных лекарств и БАДов; 3) обеспечить рождение персонального ассистента в каждом смартфоне, служащего для потребителя координатором фармакотерапевтических и нутрицевтических протоколов профилактики и лечения.

Как следует из вышеизложенного, сбор и анализ больших массивов информации с созданием многоуровневых общих и специализированных банков данных приближает человечество к пониманию и адекватным оценкам индивидуальных особенностей экспрессии генов с одной стороны и формулировке прецизионных оценок рисков для здоровья индивидуума — с другой, оптимизируя тем самым планку возраста и средней продолжительности жизни современного человека и предоставляя ему ряд гарантий. Соответственно стратегическим сегментом построения эффективной биозащиты человечества становится глобальная система мониторинга состояния индивидуального, популяционного и национального здоровья вкупе с продовольственной и лекарственной безопасностью, обеспечивая данный вид сервиса соответствующей инженерной инфраструктурой и инструментами контроля за рисками развития регионов с угрожающими здоровью признаками и тенденциями.

По прогнозам международных аналитиков, мировой рынок биоинформатики в сфере биодизайна и ТраМед к 2024 г. вырастет до \$11.05 млрд (в 2014 г. он составлял всего \$419.7 млн). При этом наиболее быстрорастущими сегментами станут: а) ППМ, б) биофарминдустрия, основанная на продуктивности фармакодизайновых проектов, и в) пищевая индустрия, интегрированная с секторами нутриобиодизайна. Мотивации — моделирование форматов лечения и ТрИиР принципиально новых поколений (Jiang et al., 2020).

Огромный прикладной потенциал биоинформатики совершенно очевиден, причем ее роль важна как для медицины, так и для самых различных сфер, включая биодизайн и ТраМед. Соответственно конвергенция фундаментальной биомедицины, системной биологии, биоинформатики и современных технологических биоплатформ, наблюдаемая как явление на фоне соответствующих социальных и экономических сдвигов, становится парадигмой сегодняшнего дня.

*Биоиндустрия и экологический комфорт
сквозь призму ППП и медицинской экологии —
новый стиль в охране здоровья
современного человека как участника
промышленной революции*

Не секрет, что промышленная биотехнология как осевой сегмент систем охраны здоровья, ресурсов здоровьесбережения и биоиндустрии создает фундаментальную основу промышленности, по-своему решающей проблемы материальных ресурсов, обеспечения энергией, охраны окружающей среды и формирования потенциальных рисков для человечества.

Первоначально интерес человечества был обращен к определению влияния природы на человека, позднее — к вопросам оценки состояния природной среды, а в конце XX—начале XXI в. акцент сделан на рациональном использовании природных ресурсов, поиске путей минимизации техногенного воздействия на природную среду, устойчивом региональном развитии. Соответственно устойчивое социально-экономическое развитие территории немислимо без учета экологических факторов, предполагающего всестороннюю оценку любого действия человека на среду его жизнедеятельности и биосферу в целом. И человечество сегодня вынуждено решать чрезвычайно сложную задачу: как при эффективном использовании природных ресурсов или ресурсов, подвергнутых инженерно-дизайнерским манипуляциям, нанести наименьший ущерб самой природе, а также жизни и деятельности населения (Fu, 2018).

При этом возникновение экологических проблем связано с интенсивным влиянием человека на природу, которое приобретает опасный и агрессивный характер. А круг приложений биотехнологии достаточно широк и включает такие направления, как:

- а) пищевая, фармацевтическая и химическая промышленность;
- б) агробиоиндустрия;
- в) практическая медицина;
- г) экобиоиндустрия, которая, используя экобиотехнологии, снижает антропогенную нагрузку путем целого ряда природных и инженерных манипуляций.

Среди вышеуказанных экотехнологий с диагностической, мониторинговой и превентивно-профилактической ориентацией особое внимание привлекают **нанобиосенсоры** (при восстановлении природных объектов как основ

жизнеобитания), применение которых крайне эффективно в тандемах с технологиями **фиторемедиации** (с использованием растений) и **биоремедиации** (с использованием микроорганизмов), минимизирующих риски и угрозы здоровью с одной стороны и сохраняющих в общем экологическом каркасе природные ресурсы здоровьесбережения нетронутыми — с другой. (Для справки: **экологический** каркас территории, обладающей присущими ей природными и антропогенными свойствами и ресурсами, — это совокупность экосистем с индивидуальным режимом природопользования для каждого участка, образующая пространственно-организационную инфраструктуру, которая поддерживает экологическую стабильность территории (Лебедев, 2008)).

Таким образом, особую значимость в общей инфраструктуре такого рода каркасов в современном мире промышленной революции приобретает **экологический комфорт** — комфорт для личности в условиях промышленной революции, развития ранее недоступных менталитету человечества секторов биоиндустрии и, соответственно, рождаемых на стыке бесчисленного количества отраслей биоиндустрии нового направления **экобиомедицины**, недавно утвержденного ВОЗ и ориентируемого на обеспечение экологической безопасности человека как индивидуума и/или отдельных популяционных сообществ. Поэтому, осознавая ограниченность природных благ и рост качества окружающей человека природной среды, крайне важным аспектом современной системы образования и воспитания становится формирование нового отношения человека к природе, а также воспитание и поддержание экологической культуры в социумах, что по достоинству заслужило международную популярность, выступая важнейшим инструментом в решении проблемы охраны природы и поддержании генофондов человечества в индивидуальном, популяционном и национальном ключах (Гнедых, 2010; Хуррамов, 2012).

К сожалению, однако, традиционная медицина с многовековым стажем игнорирует роль экологического фактора в генезе целого ряда экopatологий (включая сахарный диабет или аллергические реакции, спровоцированные продуктами современной пищевой промышленности или биоиндустрии вакцин). А под воздействием факторов окружающей среды прогрессируют 80% из 6000 известных заболеваний, что побуждает нас задуматься о необходимости развития сфер **персонализированной** (продиктованной данными по геномному ландшафту кон-

кретного индивидуума) нутрициологии и **прецизионной** вакциномики соответственно (Гнедых, 2010). На этом фоне, с истощением выработанных в ходе эволюции защитных механизмов, обезвреживающих внешние повреждающие агенты, связывают деградирующее репродуктивное здоровье, нарушения иммунной сферы, вспышки новых неописанных заболеваний, рождение мутировавших агрессивных форм рака, усиление эффектов хронически протекающего переутомления и процессов нейродегенеративного поражения нервной системы. А с таким угрожающим фактором внешней среды как городское образование связывают возрастающую и преобладающую долю хронических в общем реестре заболеваний.

Особое внимание следует уделить рискам возникновения эпи- и пандемических очагов — когда в ответ на изменения окружающей среды первые (доклинические) стадии многих заболеваний возникают внутриутробно, что особенно актуально для детей с врожденными пороками развития, орфанными заболеваниями и др. В таких случаях ресурсы ППМ незаменимы, оказывая не традиционно интуитивные лечебные, а генетически обоснованные превентивно-профилактические эффекты, вооружая экологическую медицину уникальной философией персонализированного подхода к таргетным манипуляциям с клиентом (пациентом или ЛГР).

На государственном и, естественно, социальном уровнях ППМ такого рода должна выглядеть как повышение экологической культуры общества, но, к сожалению, носителей экологического знания, а тем более, интегрированного с пониманием концепции ресурсов здоровьесбережения и пониманием новейших возможностей обновляемой модели охраны здоровья, у нас мало.

При этом, однако, активное использование разработок в области ППМ, стремление к экологическому комфорту и инновациям можно ожидать уже к 2024 г. при том, что уже на настоящий момент мировой рынок ППМ оценивается в 4 трлн долл. Большое значение в границах продвинутых рынков приобретают ПУСЗ, отличающиеся профилактической направленностью и ориентированные на комплексное удовлетворение потребностей человека как участника рыночных преобразований, потребителя и рынка в целом.

В рамках таких программ производятся прецизионные мониторинговые оценки промежу-

точных итогов взаимодействия между тестируемым индивидуумом, окружающей средой (микроэкобиотомом), спектром применяемых таргетных ЛП, персонализированных вакцин и нутрицевтиков, особенностями питания и спецификой образа жизни — ключевых факторов, влияющих на состояние здоровья любого индивидуума и человеческой популяции в целом. Иными словами, ставка делается не на традиционного врача-лекаря, а на обученного индивидуума в паре с доктором-специалистом и врачом-координатором принципиально новой генерации, который и становится своего рода “дирижером” многостадийного процесса управления индивидуальным, популяционным, а в итоге национальным здоровьем в его превентивном и профилактическом ключах и который способен обеспечить национальную биобезопасность в условиях мировой глобализации, когда важнейшим конкурентным преимуществом в роли приоритетного становится индекс человеческого развития как показатель уровня цивилизации той или иной страны (Voevodin et al., 2017).

При этом стратегический вклад в формирование современного облика ППМ с одной стороны и биоиндустрии и ее секторов — с другой вносят **биодизайнеры** — многопрофильные творцы-создатели биопродуктов и, соответственно, основоположники биоэкономики будущего (Для справки: в США к настоящему времени построено более 250 центров дизайнерских и трансляционных разработок с совокупными годовыми бюджетами порядка 45 млрд долл.). Соответственно ОБЩЕСТВУ жизненно необходима принципиально новая дизайнерская ШКОЛА в сфере промышленной биотехнологии, имеющая академические, инженерно-производственные и маркетинговые корни.

Решение такого, казалось бы, сверхсложного вопроса возможно уже сегодня, реализуя организацию дизайнерских проектов и управление ими подготовленными экспертами-биодизайнерами и управленцами-биоантрепренерами принципиально нового поколения. И, полагаясь на прагматический оптимизм, наше (российское) профессиональное сообщество обязано на базах целого ряда ВУЗов и компаний выстроить первую (пионерскую) конструкцию магистерской программы “Биодизайнер и биоантрепренер в создании и реализации безопасных для человечества инновационных проектов в области промышленной биотехнологии и биоиндустрии”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уже из первых итогов становится ясно, что принципиально новое направление, именуемое “**биодизайн**”, способно создать структурированный рыночный биопродукт — предиктивно-диагностический тест (ПДТ), прогностический инструмент, терапевтическую фармакоконструкцию, профилактический БАД (пре- или пробиотик), превентивно-профилактический или лечебно-реабилитационный протокол. А ТраМед как инновационному оператору отрасли будет принадлежать ведущая роль в развитии высокотехнологичных секторов практического здравоохранения, фарма- и нутрицевтики и биоиндустрии в целом на протяжении ближайших десятилетий.

Таким образом, мы находимся на грани глобальных перемен. А реализация целей и задач ППМ обеспечит со временем переход от системы, ориентированной на лечение заболевания, к системе управления здоровьем собственным, которое следует отнести к составляющей безопасности национальной и Большой Евразии в целом, незамедлительно обеспечивая государственными и межгосударственными гарантиями.

И главной задачей аудитории становится координация национальной и международной деятельности, ориентируемой на проведение глобальной реформы высшего образования, целью которой является продуманное и поэтапное внедрение в практику адаптированной к национальным стандартам ресурсной базы ТраМед как новой модели реализации биодизайнерских проектов, перевооружение которой кадровым потенциалом и технологическими платформами принципиально новой генерации гарантируется едиными усилиями трансдисциплинарной межВУЗовской микросреды.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования с участием человека или животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гнедых Н.Н.* Роль стратегических карт в управлении человеческими ресурсами современного предприятия // Управление человеческими ресурсами — основа развития инновационной экономики. 2010. № 2. С. 226–230.
- Лебедев А.Н., Ковешников А.И.* Концепция формирования общего экологического каркаса на территориях Орловской, Брянской и Калужской областей. http://science-bsea.bgita.ru/2008/les_2008/lebedev_koncepcia.htm
- Хуррамов И.А.* Проблемы экологического образования и воспитания на примере мирового сообщества // Молодой ученый. 2012. № 11. С. 493–496.
- Athanasios A., Charalampos V., Vasileios T., Ashraf G.M.* Protein-protein interaction (PPI) network: recent advances in drug discovery // Curr. Drug Metab. 2017. V. 18 (1). P. 5–10. <https://doi.org/10.2174/138920021801170119204832>
- Bano R., Gupta S., Shekhar C.* Translational research in biomedical sciences in India: Challenges, observations and national perspectives // Indian J. Med. Res. 2020. V. 152 (4). P. 335–341.
- Bebek G.* Identifying gene interaction networks // Meth. Mol. Biol. 2012. V. 850. P. 483–494. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-555-8_26
- Bludau I., Aebersold R.* Proteomic and interactomic insights into the molecular basis of cell functional diversity // Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 2020. V. 21 (6). P. 327–340. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0231-2>
- Chaudhary N., Kumar V., Sangwan P. et al.* Personalized nutrition and -omics // Comp. Foodomics. 2020. P. 495–507. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22880-1>
- Chen S.J., Lia D.L., Chen C.H. et al.* Construction and analysis of protein-protein interaction network of heroin use disorder // Sci. Rep. 2019. V. 9. P. 4980. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41552-z>
- Choi R.Y., Coyner A.S., Kalpathy-Cramer J. et al.* Introduction to machine learning, neural networks, and deep learning // Transl. Vis. Sci. Technol. 2020. V. 9 (2). P. 14. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.14>
- Conte F., Fiscon G., Licursi V. et al.* A paradigm shift in medicine: A comprehensive review of network-based approaches // Biochim. Biophys. Acta Gene Regul. Mech. 2020. V. 1863 (6). P. 194416. <https://doi.org/10.1016/j.bbagr.2019.194416>
- Costanzo M., Vandersluis B., Koch E.N. et al.* A global genetic interaction network maps a wiring diagram of cellular function // Science. 2016. V. 353 (6306). <https://doi.org/10.1126/science.aaf1420>
- Cui T., El Mekkaoui K., Reinval J. et al.* Gene–gene interaction detection with deep learning // Comm. Biol. 2022. V. 5 (1238). <https://doi.org/10.1038/s42003-022-04186-y>

- Cusick M.E., Klitgord N., Vidal M., Hill D.E.* Interactome: gateway into systems biology // *Hum. Mol. Genet.* 2005. V. 14 (2). P. R171–R181.
- Di Renzo L., Gualtieri P., Romano L. et al.* Role of personalized nutrition in chronic-degenerative diseases // *Nutrients.* 2019. V. 11 (8). P. 1707.
<https://doi.org/10.3390/nu11081707>
- Fang Z., Chen L.* Personalized prediction of human diseases with single-sample dynamic network biomarkers // *Biomark. Med.* 2020. V. 14 (8). P. 615–620.
<https://doi.org/10.2217/bmm-2020-0066>
- Ferguson L.R., De Caterina R., Görman U. et al.* Guide and position of the international society of nutrigenetics/nutrigenomics on personalised nutrition: Part 1 – fields of precision nutrition // *J. Nutr. Nutrigenom.* 2016. V. 9 (1). P. 12–27.
<https://doi.org/10.1159/000445350>
- Fernandez M.A., Raine K.D.* Digital food retail: public health opportunities // *Nutrients.* 2021. V. 13 (11). P. 3789.
<https://doi.org/10.3390/nu13113789>
- Fu B.* Preface for special issue, ecotechnologies for controlling non-point source pollution and protecting aquatic ecosystem (ENPE-2017) // *Sci. Tot. Environ.* 2018. V. 618. P. 1032.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.085>
- Ghadie M.A., Coulombe-Huntington J., Xia Y.* Interactome evolution: insights from genome-wide analyses of protein-protein interactions // *Curr. Opin. Struct. Biol.* 2018. V. 50. P. 42–48.
<https://doi.org/10.1016/j.sbi.2017.10.012>
- Goh K.I., Cusick M.E., Valle D. et al.* The human disease network // *PNAS USA.* 2007. V. 104 (21). P. 8685–8690.
- Huttlin E.L., Bruckner R.J., Paulo J.A. et al.* Architecture of the human interactome defines protein communities and disease networks // *Nature.* 2017. V. 545 (7655). P. 505–509.
- Jiang T., Gradus J.L., Rosellini A.J.* Supervised machine learning: a brief primer // *Behav. Ther.* 2020. V. 51 (5). P. 675–687.
<https://doi.org/10.1016/j.beth.2020.05.002>
- Kaiser R.H., Chase H.W., Phillips M.L. et al.* Dynamic resting-state network biomarkers of antidepressant treatment response // *Biol. Psychiatry.* 2022. V. 92 (7). P. 533–542.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2022.03.020>
- Karimizadeh E., Sharifi-Zarchi A., Nikaein H. et al.* Analysis of gene expression profiles and protein-protein interaction networks in multiple tissues of systemic sclerosis // *BMC Med. Genom.* 2019. V. 12. P. 199.
<https://doi.org/10.1186/s12920-019-0632-2>
- Lage K.* Protein-protein interactions and genetic diseases: The interactome // *Biochim. Biophys. Acta.* 2014. V. 1842 (10). P. 1971–1980.
- Lin J.S., Lai E.M.* Protein-protein interactions: yeast two-hybrid system // *Bacterial protein secretion systems* / Eds L. Journet, E. Cascales. N.Y.: Humana Press, 2017. V. 1615. P. 177–187.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7033-9_14
- Marcum J.A.* Nutrigenetics/nutrigenomics, personalized nutrition, and precision healthcare // *Curr. Nutr. Rep.* 2020. V. 9 (4). P. 338–345.
<https://doi.org/10.1007/s13668-020-00327-z>
- Matthews D.E., Norman K.* Editorial: Biomarkers in nutritional research // *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 2021. V. 24 (5). P. 393–394.
<https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000769>
- Osada J.* Nutrition genomics // *Int. J. Mol. Sci.* 2023. V. 24 (7). P. 6490.
<https://doi.org/10.3390/ijms24076490>
- Plewczyński D., Ginalski K.* The interactome: predicting the protein-protein interactions in cells // *Cell Mol. Biol. Lett.* 2009. V. 14 (1). P. 1–22.
- Przytycka T.M., Singh M., Slonim D.K.* Toward the dynamic interactome: it's about time // *Brief Bioinform.* 2010. V. 11 (1). P. 15–29.
- Safari-Alighiarloo N., Taghizadeh M., Rezaei-Tavirani M. et al.* Protein-protein interaction networks (PPI) and complex diseases // *Gastroenterol. Hepatol. Bed. Bench.* 2014. V. 7 (1). P. 17–31.
- Silverbush D., Sharan R.* A systematic approach to orient the human protein-protein interaction network // *Nat. Commun.* 2019. V. 10. P. 3015.
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-10887-6>
- Suchkov S.V.* Personalized and precision medicine as a new model of the healthcare services // *V Russ. Congress of laboratory medicine*, September 12, 2019.
- Taguchi Y.H.* Bioinformatic tools for epitranscriptomics // *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 2023. V. 324 (2). P. C447–C457.
<https://doi.org/10.1152/ajpcell.00437.2022>
- Taylor I.W., Linding R., Warde-Farley D. et al.* Dynamic modularity in protein interaction networks predicts breast cancer outcome // *Nat. Biotechnol.* 2009. V. 27 (2). P. 199–204.
- Tenenbaum J.D.* Translational bioinformatics: past, present, and future // *Genom. Proteom. Bioinform.* 2016. V. 14 (1). P. 31–41.
- Vidal M., Cusick M.E., Barabasi A.L.* Interactome networks and human disease // *Cell.* 2011. V. 144 (6). P. 986–998.
- Vimalaswaran K.S., Le Roy C.I., Claus S.P.* Foodomics for personalized nutrition: how far are we? // *Curr. Opin. Food Sci.* 2015. V. 4. P. 129–135.
- Voevodin D.A., Rozanova G.N., Poddubikov A.V., Mikhailova N.A.* Microbiocenosis, immune system and heredity // *Zh. Mikrobiol. Epidemiol. Immunobiol.* 2017. V. (2). P. 116–126.
- Ung M.H., Liu C.C., Cheng C.* Integrative analysis of cancer genes in a functional interactome // *Sci. Rep.* 2016. V. 6. P. 29228.
- Wiredja D., Bebek G.* Identifying gene interaction networks // *Meth. Mol. Biol.* 2017. V. 1666. P. 539–556.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7274-6_27

Human Health, Environmental Comfort and Well-Being. Part 2. Ecological Comfort as a New and Strategic Factor in the Protection of Modern Human Health

S. V. Suchkov^{a, b, g, p}, H. Abe^c, S. Murphy^{d, e}, D. Smith^f, V. S. Polyakova^{p, *}, D. Scherman^{h, i, j},
A. P. Glinushkin^k, P. Barach^l, A. O. Terent'ev^k, M. Tan^o, A. N. Suvorov^{m, n}

^a*Russian Academy of Natural Sciences, Moscow, Russia*

^b*Russian University of Medicine, Department of Clinical Allergology and Immunology, Moscow, Russia*

^c*Abe Cancer Clinic, Tokyo, Japan*

^d*Massachusetts General Hospital (MGH), Boston, MA, USA*

^e*Harvard Medical School, Boston, MA, USA*

^f*Mayo Clinic, Rochester, MN, USA*

^g*New York Academy of Sciences, USA*

^h*European Academy of Sciences, Liège, Belgium*

ⁱ*National Center for Scientific Research (CNRS), Paris, France*

^j*Paris Descartes University, Unité de Pharmacologie Chimique et Génétique d'Imagerie, Paris, France*

^k*Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^l*Wayne State University, School of Medicine, Detroit, MI, USA*

^m*Institute of Experimental Medicine, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

ⁿ*St. Petersburg State University, Department of Microbiology, St. Petersburg, Russia*

^o*NAKADA Geriatric Health and Welfare Facilities, Nakada Tome Miyagi, Japan*

^p*University of World Politics and Law, Moscow, Russia*

*e-mail: med_nika2000@mail.ru

Since the dawn of humanity, human beings have inherently sought a state of security, trying to make their existence as comfortable as possible. Accordingly, among the many factors affecting human health, comfort and well-being, the quality of the micro-environment and ecology, as well as the health care system and health-saving resources, are important. In this regard, environmental security, with its systemic nature, brings a significant contribution to the PPM model by optimizing the state of balance in the interrelationship of natural, anthropogenic, physiological and social processes. Accordingly, individualized nutrition and pharmacointervention for preventive and prophylactic purposes, being important tools for health preservation, represent an integrative approach aimed at understanding the interaction between nutrition and the environment within the formed or formed lifestyle. This review will consider the main components of human health protection, as well as their impact on the preservation of ecobiocenosis stability.

Keywords: personalized and precision medicine, translational development, nutritional science, biodesign, bioinformatics, biotechnology, genetics