

Информационно-логическая модель научно-технологического потенциала превентивной и персонализированной медицины *

А. Б. Петровский, С. В. Проничкин, Г. И. Шепелёв

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия

Аннотация. Персонализация медицины является современной концепцией охраны здоровья. В статье обозначены цели и задачи превентивной и персонализированной медицины. Сформирована многоуровневая иерархическая информационно-логическая структура для системного моделирования тенденций развития превентивной и персонализированной медицины. Предложены методы многоаспектной оценки и выбора перспективных наукоемких технологий в превентивной и персонализированной медицине.

Ключевые слова: принятие решений, превентивная и персонализированная медицина, системное моделирование, перспективные наукоемкие технологии, многоаспектная оценка

DOI 10.14357/20718594220302

Введение

В настоящее время все более востребованной становится превентивная и персонализированная медицина, выступающая альтернативой традиционной системе здравоохранения. Концепция нового стратегического направления развития медицины сфокусирована на индивидуальном здоровье человека, доклиническом выявлении заболеваний, прогнозировании течения болезни, превентивных и реабилитирующих мерах, способных реально стабилизировать и снизить показатели заболеваемости, инвалидности трудоспособного населения, существенно сократить традиционно высокие расходы на лечение заболевших людей.

Персонализированная медицина, как указывается в стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 го-

да, основана на прогностическом и профилактическом принципах, Это позволяет раскрыть потенциальные и адаптационные возможности организма человека и увеличить продолжительность его активной жизни [12]. Персонализация медицины, согласно прогнозу научно-технологического развития России на период до 2030 года, рассматривается как перспективная форма развития здравоохранения в России.

Особенность превентивной медицины состоит в персонификации управления состоянием здоровья отдельного человека и резервами его организма, чтобы обеспечить продолжительную и полноценную здоровую жизнь. Основными задачами являются своевременное выявление изменений в организме человека, способных привести к заболеванию, и принятие мер, которые могут предотвратить болезнь. Многие заболевания обусловлены одновремен-

* Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 19-29-047мк).

✉ Петровский Алексей Борисович. E-mail: pab@isa.ru

но несколькими причинами. Чтобы создать действенные способы профилактики и лечения, необходимо выяснить, как взаимодействуют факторы заболеваний, как персонализированная медицина может нивелировать негативные синергетические эффекты.

Концептуальное моделирование системы охраны здоровья призвано помочь руководителям проанализировать возможные варианты решения проблемы и выбрать из них наиболее предпочтительные. Обычно для этого применяются количественные подходы и усредняемые показатели [16, 27, 36]. В статье рассматривается новый оригинальный подход – системно-объектный детерминантный анализ, который позволяет формализовать описание сложных систем, начиная с систем-классов и кончая системами-явлениями [2-4]. Анализ и детализация описания системы охраны здоровья представляется как процесс постепенного уточнения её свойств. Для выявления многообразия связей и отношений между элементами, которые задаются многими признаками и могут существовать в нескольких различающихся версиях, строится многоуровневая информационно-логическая модель системы [11]. С помощью модели определяют варианты распределения ресурсов, в наибольшей степени соответствующие заданной политике, оценивают значимость средств достижения целей и обеспеченность ресурсами. Оценка перспективности наукоемких технологий в превентивной и персонализированной медицине реализуется методами вербального анализа решений [1, 9].

В статье отмечены цели и задачи превентивной и персонализированной медицины. Выделены градации состояния здоровья и факторы риска. Предложена многоуровневая иерархическая информационно-логическая структура, концептуально моделирующая систему охраны здоровья, которая позволяет определить ресурсы, обеспечивающие достижение поставленных целей, и дать их обоснованную оценку. Описаны методы вербального анализа решений, предоставляющие заинтересованным сторонам возможность проводить многоаспектную оценку и выбирать перспективные наукоемкие технологии в превентивной и персонализированной медицине. Отмечены основные факторы, влияющие на эффективность принятия управленческих решений.

1. Цели и задачи превентивной и персонализированной медицины

Одна из существенных современных угроз здоровью людей – хронические заболевания, в особенности сердечно-сосудистые, онкологические, респираторные, нейродегенеративные заболевания, сахарный диабет. Хронические заболевания являются основной причиной смертности и инвалидности в мире, а их распространенность продолжает расти [21, 23, 34]. Хронические заболевания служат также одним из спутников бедности в развивающихся странах.

Эффективная борьба с заболеваниями подразумевает переход от традиционной системы здравоохранения к комплексной, сочетающей традиционный и превентивный компоненты. Усилия, направленные на то, чтобы придать превентивному здравоохранению широкие прогнозирующие, профилактические, персонализированные возможности, в том числе основанные на широком участии всех заинтересованных сторон, позволят значительно улучшить здоровье населения [13].

В лечении заболеваний обычно принимают участие врачи различных медицинских специальностей. Профилактический и прогнозирующий подходы в медицине объединяют усилия специалистов разного профиля для продвижения и облегчения междисциплинарного взаимодействия, расширяют возможности использования современных информационных технологий, методов поддержки принятия врачебных и управленческих решений. Однако слабое взаимодействие между специалистами, врачами и пациентами, приводят к фрагментированному подходу к охране здоровья, несогласованным и недостаточным действиям, неоптимальному соотношению затрат и эффективности проводимых мероприятий.

Превентивная медицина, по сравнению с традиционной профилактической, имеет более широкое применение и более насыщена научно-техническим содержанием. Превентивная медицина должна не только предотвращать хронические заболевания, но и оперативно применять наукоемкие технологии для охраны и сохранения здоровья человека. Именно в превентивной медицине могут и должны объединяться усилия медиков, специалистов в области физики, химии, биологии, информационных технологий, искусственного интеллекта и при-

нения решений для адекватного ответа на современные вызовы системе здравоохранения.

Цель превентивной и персонализированной медицины – улучшение здоровья конкретного человека. В работе [8] предложена концептуальная модель здравоохранения, получившая название 4П-медицины, которая строится на следующих принципах: персонализация (индивидуальный подход к каждому пациенту с учетом его особенностей), предикция или прогнозирование (выявление предрасположенности к развитию заболевания), превентивность (предотвращение или снижение риска развития болезни), партисипативность (активное участие человека в профилактике возможных заболеваний и их лечении). Основа концепции 4П-медицины – предоставить каждому конкретному человеку все имеющиеся научно-технологические достижения и возможности науки. Для развития 4П-медицины в России требуется решение большого круга научных, методологических и организационных задач. В числе первоочередных:

- разработка методов прогнозирования динамики показателей состояния здоровья;
- разработка методов и технологий раннего выявления индивидуальных факторов риска возникновения заболевания и коррекций выявленных нарушений;
- разработка методов и технологий мониторинга и прогнозирования развития заболевания;
- разработка методов и технологий персонализированного лечения заболевания;
- обеспечение координации науки и практической медицины;
- подготовка высококвалифицированных научных и медицинских кадров;
- создание необходимой нормативно-правовой базы, обеспечивающей профилактику заболеваний и персонализированный подход к пациенту;
- построение эффективных механизмов управления и информационно-просветительской работы, ориентированных на мотивацию ответственного отношения людей к своему здоровью.

Развитие превентивной медицины стимулирует необходимый сдвиг парадигмы системы здравоохранения на поддержание здорового образа жизни. Это позволит: лучше предотвращать возникновение хронических заболеваний; обнаруживать и прогнозировать болезни на ранних ста-

диях; использовать более совершенные методы и средства лечения; уменьшить побочные действия лекарственных средств; перенести акцент с лечения заболеваний на их профилактику путем распространения информации о преимуществах здорового образа жизни.

Научный прогресс обеспечил качественный скачок в развитии методов и средств ранней диагностики заболеваний. Разработка и внедрение автоматизированных комплексов расширило спектр возможностей, повысило точность и производительность исследований. Высокую диагностическую ценность и информативность достигли методы лабораторных анализов, лучевой диагностики, УЗИ, различные виды томографии. С помощью молекулярно-генетических методов стало возможным выявление бессимптомных носителей наследственных заболеваний, определение генетической наследственности к различным болезням, таким как сахарный диабет, бронхиальная астма, гипертония и др.

Имеется два вида основных факторов, определяющих приоритеты персонализированной медицины, которые связаны, во-первых, с результатами, а во-вторых, с затратами [5-7]. Современные исследования носят в основном стратегический характер, они нацелены на получение знаний, которые необходимы для разработки теории и практики персонализированной медицины. Как считают специалисты, превентивная медицина сможет лучше прогнозировать риски и предотвращать хронические заболевания за счет более глубокого понимания геномики, взаимодействия между геномикой, образом жизни, социальной и материальной средой, окружающей человека [28, 32]. Результаты должны быть максимально эффективно и действенно увязаны с целью улучшения здоровья человека, чтобы обеспечить наилучшее соотношение затрат на персонализированную медицину и полученные практические достижения.

Одновременно важна и необходима финансовая составляющая, которая охватывает не только пользу для здоровья, но и коммерческие вопросы, например, окупаемость проводимых мероприятий, выгодность инвестиций, затрат на научные исследования [24]. В работах [26, 29] приводятся рекомендации, как оптимизировать баланс между различными типами исследований, в том числе в области общественного здравоохранения и служб персонализированной медицины. В работе [14] отмечается, что нужна хорошо управляемая про-

грамма стратегических исследований с определенным финансированием, национальной координацией и отлаженной процедурой установления приоритетов персонализированной медицины. Процесс распределения ограниченных средств по приоритетным направлениям должен быть прозрачным, чтобы противостоять предвзятости мнений разных сторон.

2. Состояние здоровья и факторы риска

Основное внимание в превентивной и персонализированной медицине направлено на сохранение и укрепление здоровья человека, профилактику хронических заболеваний и устранение связанных с ними факторов риска. Акцент смещается на отслеживание перехода от здорового состояния к заболеванию и предотвращение заболеваний на самой ранней стадии их возникновения. В случаях, когда проявились первые факторы риска или уже поставлен диагноз хронического заболевания, упор делается на активное возвращение человека в здоровое состояние.

Здоровье и благополучие зависят от разнообразных факторов сложной структуры, которые постоянно взаимодействуют, влияя на поведение людей и окружающую среду, формируя образ жизни индивида и воздействуя на человеческую биологию. В основе возникновения хронических заболеваний лежит постоянное воздействие различных факторов риска. Многие из них связаны с окружающей средой и образом жизни, например, загрязнение воздуха, шумовое загрязнение, отсутствие физической активности, неправильное или плохое питание, избыточная масса тела, курение, недостаточный сон, избыточный стресс, психосоциальные расстройства и др. Социально-экономические детерминанты, особенно, бедность, также влияют на возникновение, тяжесть протекания и лечение хронических заболеваний. Негативные факторы стресса сложным образом коррелируют с другими дисфункциями [18].

Важнейшим показателем эффективности системы охраны здоровья служит состояние здоровья, градации которого зададим в следующем вербальном виде: Z_1 – хорошее здоровье; Z_2 – появление признаков хронического заболевания; Z_3 – наличие симптомов хронического заболевания; Z_4 – наличие подтвержденного диагноза хронического заболевания.

Первая градация Z_1 означает, что человек практически здоров, ключевые показатели его здоровья, например, уровень глюкозы в крови, артериальное давление, холестерин находятся в пределах нормы. Люди с хорошим здоровьем могут легко адаптироваться к потенциальным факторам стресса, обеспечивать здоровый образ жизни и защиту от неблагоприятных воздействий окружающей среды. Современные методы биологических, клинических, экологических и молекулярных оценок предоставляют большие возможности для детального обследования состояния здоровья широких слоев населения [25, 31, 37].

Очень трудно однозначно установить точную причину заболеваний, необходимо исследовать сложную сеть из множества факторов, которые взаимодействуют на разных уровнях во времени и пространстве. Различные факторы дают кумулятивный эффект, в результате чего заболевания в каждом конкретном случае уже не соответствуют определенным временным рамкам, становятся уникальным опытом каждого человека, нуждающегося в персональном лечении. Определенные меры могут повысить сопротивляемость и удержать здоровье человека на первой градации Z_1 . Так, здоровое питание и регулярная физическая активность могут снизить риск возникновения заболевания. Профилактические мероприятия тоже можно эффективно персонализировать, например, за счет обратной связи посредством мониторинга.

Переход от здорового состояния к предхронической стадии, как правило, протекает медленно и часто незаметно для человека. Переход от градации Z_1 к Z_2 выражается в накоплении стрессоров, нарушении биологической устойчивости, появлении признаков нездорового образа жизни. Переплетенная совокупность стрессоров проявляется в виде различных клинических и биологических признаков, свидетельствующих о повышении риска хронических заболеваний. Традиционные признаки включают высокое артериальное давление, повышенный холестерин и уровень сахара в крови. Ранние дисфункции и предвестники хронических заболеваний часто игнорируются. Люди с классическими начальными признаками риска хронических заболеваний обычно не связывают их с функциональными нарушениями в своей повседневной жизни. В то же время умеренные физические нагрузки, более подвижный образ

жизни позволили бы избежать возникновения признаков второй стадии Z_2 .

В сложных динамических системах, таких как организм человека, существуют моменты, в которых может произойти внезапный качественный переход из одного состояния в другое. Предсказать такие критические точки до того, как они будут достигнуты, можно при наличии сигналов раннего предупреждения. Активное развитие исследований в таких междисциплинарных областях как геномика, эпигенетика, транскриптомика, протеомика, метаболомика, которые связаны с прогнозированием риска хронических заболеваний, будет способствовать более детальной идентификации состояния Z_2 по многим параметрам [22].

Превентивная медицина способна оценивать состояние человека, выявлять препятствия к изменению его образа жизни, возвращать человека на первую градацию здоровья. Средства массовой информации могут давать людям знания, которые помогут улучшить состояние здоровья и изменить нежелательную траекторию. Различные образовательные программы и курсы обучения здоровьесбережению также можно рассматривать как превентивные меры [33]. Знания и мотивация могут стимулировать людей к здоровому образу жизни. В противном случае, спустя некоторое время, а это могут быть и десятилетия, признаки второго состояния здоровья Z_2 уступят место признакам третьего состояния Z_3 – наличию симптомов хронического заболевания.

Появление симптомов хронических заболеваний – отправная точка взаимодействия людей с традиционной системой здравоохранения. Так, одышка, возникающая при физических нагрузках, является симптомом хронических заболеваний. Стойкая депрессия также повышает риск хронических заболеваний. Нездоровый образ жизни и стойкие отклонения в основных показателях здоровья в подавляющем большинстве случаев хорошо известны при состоянии здоровья Z_3 . В традиционной системе здравоохранения симптомы нередко лечат без устранения основных причин и механизмов, лежащих в основе дисфункций. Симптомы временно уменьшаются, в то время как уровень дисфункции и нездоровый образ жизни сохраняются, вызывая последующие симптоматические эпизоды и прогрессирующее биологическое повреждение организма. На этом этапе

очень высок риск возможного перехода в состояние хронического заболевания.

При градации здоровья Z_4 после того, как хроническое заболевание диагностировано, традиционная модель здравоохранения направлена на стабилизацию состояния пациента в стационарных условиях и облегчение обостренных симптомов. Подход к лечению становится более радикальным. Лечение хронических заболеваний, например, таких как ишемическая болезнь сердца или рак, требует дорогостоящих и часто инвазивных мер. При состоянии здоровья Z_4 , как и при предыдущем Z_3 , обычно не рассматриваются основные причины и механизмы диагностированного заболевания, а также факторы риска, связанные с окружающей средой и образом жизни, которые, если их изменить, существенно улучшили бы прогноз течения заболевания.

После достижения градации здоровья Z_4 люди обычно находятся в этом состоянии всю оставшуюся жизнь. Более того, у многих людей диагностируется более одного хронического заболевания. Таким образом, дисфункции организма продолжают нарастать, а ситуация все ухудшается: увеличиваются заболеваемость и преждевременная смертность и, как следствие, растут затраты на здравоохранение. Расходы на охрану здоровья наиболее высоки именно на градациях Z_3 и Z_4 .

По мере того, как человек переходит от состояния здоровья Z_1 к Z_4 , значительно снижаются качество и ожидаемая продолжительность жизни. Однако различные градации здоровья не следует рассматривать как однонаправленные, развивающиеся от хорошего состояния к хроническому заболеванию, не дающему надежду на выздоровление. Ухудшение функционального и физиологического здоровья можно приостановить с помощью профилактики. Предотвращение заболеваний на как можно более ранней стадии требует более глубокого понимания патогенеза хронических заболеваний на основе подходов системной медицины [35]. Системная медицина выявляет системные факторы, препятствующие развитию болезни, изучает их влияние, а также возможности потенциальных защитных свойств. В идеале предотвращение хронического заболевания уже на уровне Z_1 должно гарантировать, что факторы риска больше никогда не проявятся независимо от возраста или состояния здоровья индивида.

В сложившейся медицине существует давняя традиция решения проблем «сверху-вниз». Этот подход был полезен, когда инфекционные заболевания и острые травмы представляли основные проблемы для населения. В настоящее время основным вызовом в области здравоохранения являются хронические заболевания. Чтобы профилактические мероприятия превентивной медицины были успешными, необходимо чтобы человек, получающий помощь, и члены его семьи выступали в качестве основной заинтересованной стороны. Для этого требуются знания, мотивация и компетенция людей, понимающих, оценивающих и использующих релевантную информацию о своем здоровье. На каждом уровне $Z_1 - Z_4$ следует прилагать усилия для увеличения мотивации и способностей человека по поддержанию здоровья. Это справедливо и для принятия решений в повседневной жизни, профилактики заболеваний и укрепления здоровья.

3. Системная модель превентивной и персонализированной медицины

Переход к современной превентивной системе здравоохранения требует изменения парадигмы формирования приоритетов для улучшения здоровья населения и решения текущих проблем, связанных с хроническими заболеваниями и сопутствующими факторами риска, предполагает участие всех заинтересованных сторон. Чтобы обеспечить условия для здорового образа жизни, добиться положительных

эффектов в профилактике и лечении хронических заболеваний, необходимо тесное сотрудничество между учеными и практическими специалистами из различных дисциплин. Заинтересованные стороны с привлечением представителей всех секторов экономики должны активно участвовать в формировании приоритетов развития превентивной и персонализированной медицины, разработке инновационных программ национального уровня.

Одним из наиболее адекватных подходов, позволяющих рассмотреть тенденции развития сложной системы, является ее информационно-логическое моделирование [11]. Модель системы, представленная в виде многоуровневой иерархической структуры, – это, по сути, средство программного планирования, ориентированное на многокритериальную экспертную оценку различных вариантов стратегических решений, с помощью которого осуществляется переход от целей к средствам достижения целей и выбор возможных вариантов реализации. Многоуровневая информационно-логическая модель научно-технологического потенциала превентивной и персонализированной медицины представлена на Рис. 1.

Верхний иерархический уровень модели образуют цели системы. Применительно к развитию превентивной и персонализированной медицины цели сохранения и улучшения здоровья человека структурируются в зависимости от функционального состояния здоровья. Например, для состояния здоровья Z_1 целью является существенное увеличение доли населения,

Сохранение и улучшение здоровья человека																
Z_1				Z_2				Z_3				Z_4				
Уровни превентивной и персонализированной медицины																
Y_1				Y_2				Y_3				Y_4				
Механизмы реализации																
M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{21}	M_{22}	M_{23}	M_{24}	M_{31}	M_{32}	M_{33}	M_{34}	M_{35}	M_{41}	M_{42}	M_{43}	M_{44}	M_{45}
Наукоёмкие технологии																
T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}							
Кадровые ресурсы				Научные ресурсы				Производственные ресурсы								
K_1	K_2	K_3	K_4	H_1	H_2	H_3	P_1	P_2	P_3	P_4						

Рис. 1. Информационно-логическая модель научно-технологического потенциала превентивной и персонализированной медицины

имеющего хорошее здоровье. Вместе с тем, независимо от того, в каком состоянии здоровья находится человек, необходимо предотвратить возникновение возможных хронических заболеваний и побочных эффектов от лечения, облегчить симптомы и дисфункции, а если они уже есть, то улучшить качество жизни.

Предлагается рассматривать следующие уровни превентивной и персонализированной медицины: U_1 – глобальный; U_2 – национальный; U_3 – персональный; U_4 – физиологический. На каждом уровне используются свои механизмы, обеспечивающие достижение целей.

Глобальные стратегические цели превентивной медицины направлены на улучшение здоровья большей части населения планеты и сокращение бремени хронических заболеваний. Международные и неправительственные организации в области общественного здравоохранения играют жизненно важную роль в мероприятиях глобального уровня U_1 . При этом используются такие механизмы как: M_{11} – законодательная политика, способствующая укреплению здоровья; M_{12} – стратегические программы и рекомендации; M_{13} – финансирование программ, мероприятий, научных исследований. Ярким примером организации глобального масштаба является Всемирная организация здравоохранения.

Персонализированная медицина национального уровня U_2 оказывает существенное влияние на образ жизни и поведение людей. Механизмы этого уровня обеспечивают создание рамочных условий для ведения здорового образа жизни. В их числе: M_{21} – доступность здоровой пищи; M_{22} – широкие возможности для занятия физкультурой и спортом; M_{23} – наличие территорий, свободных от курения; M_{24} – информационная поддержка по вопросам сохранения здоровья и предотвращения хронических заболеваний. Национальные системы здравоохранения располагают многими возможностями для практического внедрения превентивной медицины, использования пропаганды и других средств реализации здорового образа жизни населения. Примером может служить, например, программа «Активное долголетие» в Москве.

Превентивная медицина и необходимость здорового образа жизни должны не только восприниматься конкретным человеком и поддерживаться им – это двустороннее движение. Тре-

тий уровень персонализированной медицины U_3 нацелен на человека во всех состояниях здоровья. Здесь в центре внимания находятся конкретные меры по обеспечению здорового образа жизни. На этом уровне происходит личное взаимодействие пациента с врачом, медсестрой, фармацевтом, диетологом, социальным работником, специалистом по физкультуре. Сюда также включаются способы общественного взаимодействия с родственниками человека, получающего медицинскую помощь.

Механизмы превентивной медицины уровня U_3 должны выходить за традиционные рамки системы здравоохранения, действовать непосредственно на рабочих местах и в домашних условиях. Организационные структуры, осуществляющие охрану здоровья, – это не только M_{31} – больницы, поликлиники, другие медицинские учреждения; M_{32} – санатории, дома отдыха, спортивные, физкультурные и другие оздоровительные организации; но также M_{33} – социальные и образовательные организации; M_{34} – предприятия и учреждения; M_{35} – профессиональные сообщества и общественные объединения. Предпринимаемые меры дадут эффект только тогда, когда произойдет переосмысление традиционного отношения людей к своему здоровью. Здоровый образ жизни – это универсальное лекарство. Если человека окружает здоровая среда, если он хорошо осведомлен о важности здорового образа жизни, то вероятность возникновения хронических заболеваний значительно снижается.

Персонализированная медицина уровня U_1 – U_3 ориентирована на обеспечение здорового образа жизни, уровня U_4 – на конкретную физиологическую систему индивида, в которой имеются дисфункции или уже хроническое заболевание. Здесь можно выделить такие механизмы воздействия как M_{41} – хирургическое вмешательство, M_{42} – лекарственная терапия, M_{43} – физиотерапия, M_{44} – лечебная физкультура и реабилитация, M_{45} – оздоровительная физкультура и спорт. Большинство людей, которым оказывается медицинская помощь уровня U_4 , находится в состояниях здоровья Z_3 и Z_4 . По мере развития превентивной медицины помощь все больше будет предоставляться и лицам с состоянием здоровья Z_1 и Z_2 .

Средствами достижения целей в модели выступают наукоемкие технологии, которые имеют большое значение для вовлечения людей в

превентивную и персонализированную медицину, обмена информацией по вопросам здорового образа жизни, а также кадровые, научные и производственные ресурсы.

Преентивная медицина играет важную роль в профилактике заболеваний, когда проявляется фенотип фактора риска, предсказывающий повышенную вероятность неблагоприятных событий. Прогнозирование дисфункций и обнаружение предвестников заболевания позволяет проводить упреждающие вмешательства для блокировки основных механизмов возникновения заболевания до появления его симптомов. Следующим шагом является устранение факторов риска, возвращение человека к оптимальному состоянию здоровья. Это потребует от широкого круга специалистов более активного взаимодействия с людьми, у которых ещё нет видимых признаков или симптомов заболевания, для выявления риска возникновения дисфункций. Исследования в области системной биологии помогут открыть новые биомолекулярные сети и биомаркеры для прогнозирования и мониторинга заболеваний, улучшения биофармацевтических вмешательств. В настоящее время в основе прогнозирования заболеваний лежат различные биомаркеры, такие как липиды крови, глюкоза крови, С-реактивный белок. Следующее поколение биомаркеров повысит точность выявления дисфункций, в особенности на ранних этапах.

Изучение сложных биологических динамических систем, которые образуют совокупность подсистем, распределенных на нескольких уровнях, таких как человек и его тело, начиная от молекулярного уровня и заканчивая популяционным уровнем, требует междисциплинарного сотрудничества специалистов из разных областей. Чтобы лучше прогнозировать и предотвращать хронические заболевания превентивная медицина должна в перспективе использовать высокопроизводительные технологии, например, такие как секвенирование ДНК и РНК, которые позволяют создавать большие наборы данных, отражающих многочисленные показатели динамических сетевых взаимодействий.

Для всестороннего анализа и управления огромными объемами слабоструктурированных и распределенных данных, охватывающих сведения о здоровье людей от состояния Z_1 до Z_4 , требуются удобные, безопасные и эффективные

средства [15, 20, 30]. Упомянем некоторые из необходимых технологий и цифровых ресурсов:

- банки персональных данных каждого человека (генетические и фенотипические характеристики, истории болезни, демографические и социометрические данные, др.);
- технологии для сбора и обработки информации о различных аспектах состояния здоровья и факторах риска;
- аналитические методы для извлечения знаний из больших массивов данных;
- сетевая инфраструктура, объединяющая научные, образовательные и медицинские учреждения.

Используя информационные ресурсы, можно систематизировать разнообразные сведения о состоянии здоровья населения на разных уровнях, исследовать, как генетические особенности человека и окружающая среда влияют на возникновение и развитие хронических заболеваний, обеспечить прогнозирование, предотвращение и лечение заболеваний.

Таким образом, свой вклад в развитие превентивной и персонализированной медицины вносят разнообразные наукоемкие технологии: T_1 – профилактические; T_2 – диагностические; T_3 – лечебные; T_4 – оздоровительные, T_5 – информационные; T_6 – исследовательские; T_7 – образовательные; T_8 – производственные; T_9 – социальные; T_{10} – управленческие. Новые современные технологии предоставляют всем заинтересованным сторонам возможности для расширения охвата и инициатив в области здорового образа жизни.

Перечислим без детального обсуждения основные виды ресурсов, обеспечивающих достижение целей превентивной и персонализированной медицины. Кадровые ресурсы: K_1 – врачи, научные работники, высококвалифицированные специалисты; K_2 – средний медицинский персонал, инженерно-технические работники; K_3 – младший медицинский персонал, рабочие, служащие, вспомогательные работники; K_4 – административно-управленческий персонал. Научные ресурсы включают: H_1 – результаты революционных научных исследований, способные кардинально повлиять на развитие медицины; H_2 – результаты перспективных фундаментальных и прикладных научных исследований, которые можно быстро практически использовать в медицине, здравоохранении, высокотехнологичных областях; H_3

– результаты возможного научно-технического заимствования новых знаний и воспроизводства передовых перспективных технологий. Производственные ресурсы составляют: P_1 – производственные мощности для выпуска наукоемкой продукции; P_2 – производственные мощности для выпуска комплектующих изделий и компонентной базы; P_3 – современное технологическое оборудование, приборы, инструменты, оснастка; P_4 – функционирующий рынок услуг по технологической поддержке производителей.

4. Многоаспектная оценка перспективности наукоемких технологий

Восприятие обществом проблем здоровья, учет мнений всех заинтересованных сторон, в том числе потенциальных потребителей, является важной частью процесса формирования и реализации государственной политики в области здравоохранения. Сокращение неравенства и большая справедливость при оказании наилучших медицинских услуг для наибольшего числа людей – одна из сложных политических задач системы здравоохранения при использовании современных наукоемких технологий. Для этого необходимо оценить, как социально-экономический статус влияет на жизнедеятельность человека, вызывает заболеваемость и инвалидность, определяет эффективность лечения.

Важным условием для создания инноваций и их реализации в превентивной и персонализированной медицине является тщательный анализ сложившейся базы знаний, выявление научных результатов, которые с большей вероятностью будут инновационными, расширят доказательную базу медицины, восполнят реальные потребности системы здравоохранения [17]. Рассмотрим более детально задачу оценки научных приоритетов. Под перспективностью исследований и наукоемких технологий будем понимать поиск и применение новых знаний и методов или способов решения проблем охраны здоровья в превентивной и персонализированной медицине. Ключевой вопрос при оценке перспективности инновационной работы – определить относится ли работа к новой (недостаточно изученной или возникшей) проблеме,

направлена на новое решение известной проблемы или обобщение уже известных знаний.

Известные существующие подходы к оценке перспективности в науке опираются в основном на количественные критерии, хотя сама эта задача является слабоструктурированной. Методы вербального анализа решений [1, 9] предоставляют общий и согласованный язык, позволяющий специалистам структурировать свои предпочтения, выраженные на естественном языке. Методы вербального анализа решений обеспечивают гибкость установления научных приоритетов, приемлемых для поддержки, как ориентированных научных проектов, так и чисто поисковых исследований не зависимо от возможностей для немедленного практического выхода.

Оценивание перспективности наукоемких технологий в превентивной и персонализированной медицине целесообразно проводить с помощью мультиметодной технологии ПАКС-М многокритериального выбора с уменьшением размерности пространства качественных признаков [10]. Использование технологии ПАКС-М позволяет сформировать интегральный показатель перспективности, который объединяет качественные показатели научных исследований в области персонализированной медицины в логическую схему установления приоритетов.

Конструирование шкал критериев рассматривается как решение задачи порядковой классификации на иерархической системе показателей. В качестве объектов последовательной классификации выступают комбинации градаций оценок по критериям, а агрегированные оценки играют роль классов решений. Таким образом, лица, принимающие решение, и эксперты имеют возможность различным образом формировать понятия «перспективность направления исследований», «перспективность наукоемкой технологии» в области превентивной и персонализированной медицины, сравнивать обобщенные показатели, сконструированные различными способами.

Определение потребностей превентивной и персонализированной медицины, масштабов применения научных результатов требуют тщательной и всесторонней экспертизы. Предлагается учитывать шесть качественных критериев, которые характеризуют значимость наукоемкой технологии для превентивной и персонализи-

рованной медицины: A_1 . Важность технологии, A_2 . Уровень влияния технологии, A_3 . Степень влияния технологии, A_4 . Актуальность технологии, A_5 . Доступность технологии, A_6 . Реализуемость технологии.

Критерий A_1 . Важность технологии отражает уровень потребности системы здравоохранения в технологии для организованного ответа на конкретное заболевание. Качественная шкала оценок $X_1 = \{x_1^1, x_1^2, x_1^3\}$ с тремя вербальными градациями, где x_1^1 – технология принципиально важна для системы здравоохранения в целом, x_1^2 – технология важна для отдельных отраслей здравоохранения, x_1^3 – технология может быть использована только в одной отрасли здравоохранения.

Критерий A_2 . Уровень влияния технологии характеризует возможности технологии влиять на причинно-следственные связи, факторы и защитные детерминанты, определяющие здоровье на различных уровнях. У всех проблем со здоровьем есть причины, которые сами могут оказаться результатом действия других причин или факторов риска в цепочке событий, и эти причины могут быть выявлены путем тщательного изучения. Качественная шкала оценок:

$$X_2 = \{x_2^1, x_2^2, x_2^3, x_2^4, x_2^5\},$$

где x_2^1 – технология оказывает влияние на уровне популяции; x_2^2 – технология оказывает влияние на социальном уровне; x_2^3 – технология оказывает влияние на уровне организма человека; x_2^4 – технология оказывает влияние на уровне физиологической системы человека; x_2^5 – технология оказывает влияние на уровне биологических и молекулярных процессов.

Критерий A_3 . Степень влияния технологии характеризует, как наукоемкая технология влияет на негативные эффекты, обусловленные различными заболеваниями. Качественная шкала оценок:

$$X_3 = \{x_3^1, x_3^2\},$$

где x_3^1 – технология оказывает влияние на раннее выявление и устранение проблем со здоровьем, обусловленных несколькими факторами заболеваний; x_3^2 – технология оказывает влияние на выявление и устранение проблем со здоровьем, обусловленных отдельными факторами заболеваний.

Критерий A_4 . Актуальность технологии оценивает значимость технологии для решения задач охраны и укрепления здоровья, снижения

общей и профессиональной заболеваемости, инвалидности и смертности. Качественная шкала оценок:

$$X_4 = \{x_4^1, x_4^2, x_4^3\},$$

где x_4^1 – технология вносит решающий вклад в решение комплекса важнейших задач охраны здоровья; x_4^2 – технология вносит существенный вклад в решение отдельных задач охраны здоровья; x_4^3 – технология вносит незначительный вклад в решение задач охраны здоровья.

Критерий A_5 . Доступность технологии отражает социальную направленность технологии превентивной и персонализированной медицины, ее доступность для различных групп населения. Качественная шкала оценок:

$$X_5 = \{x_5^1, x_5^2, x_5^3\},$$

где x_5^1 – технология доступна социально-незащищенным слоям населения с низкими доходами; x_5^2 – технология доступна слоям населения со средними доходами; x_5^3 – технология доступна слоям населения с высокими и сверхвысокими доходами, не нуждающимся в социальной защите.

Критерий A_6 . Реализуемость технологии определяет возможность реальных изменений при оказании медицинской помощи за счет эффективного распространения и использования наукоемкой технологии в практике здравоохранения. Качественная шкала оценок:

$$X_6 = \{x_6^1, x_6^2, x_6^3\},$$

где x_6^1 – технология имеет долгосрочные перспективы практического использования в превентивной и персонализированной медицине; x_6^2 – технология востребована в превентивной и персонализированной медицине; x_6^3 – практическое использование технологии не очевидно.

Исходные критерии $A_1 - A_6$ можно разделить на две группы, характеризующие административные и социальные особенности инновационной технологии.

Группа административных критериев включает критерии: A_1 . Важность технологии, A_2 . Уровень влияния технологии, A_3 . Степень влияния технологии. Административные критерии отражают различные аспекты управления превентивной и персонализированной медициной. Они включают широкий спектр мероприятий по охране и укреплению здоровья от диагностического обследования, медикаментозного или хирургического лечения, укрепления здоровья до организации медицинских услуг и совершенствования законодательства.

Группа социальных критериев включает критерии: А₄. Актуальность технологии, А₅. Доступность технологии, А₆. Реализуемость технологии. Социальные критерии оценивают справедливость практического распределения преимуществ превентивной и персонализированной медицины между всеми слоями населения. Они охватывают взаимодействие медицины, науки, образования, политики, общественных отношений, коммуникаций, маркетинга.

При необходимости перечисленные исходные критерии А₁ - А₆ можно далее агрегировать в составные критерии следующих уровней иерархии, воспользовавшись технологией ПАКС-М. Так, можно ввести самостоятельные критерии: В₁. Административные особенности инновационной технологии и В₂. Социальные особенности инновационной технологии. Критерии В₁ и В₂ имеют порядковые шкалы $Y_i = \{y_i^1, y_i^2, y_i^3\}$, $i = 1, 2$, например, с тремя вербальными градациями: y_i^1 – высокая, y_i^2 – средняя, y_i^3 – низкая. Составные критерии В₁ и В₂ можно объединить в один интегральный показатель В. Перспективность технологии превентивной и персонализированной медицины со своей вербальной шкалой оценок, градации которой определяются спецификой рассматриваемой проблемы.

Значимость технологии во многом зависит от подхода, который используется для формирования задач превентивной и персонализированной медицины. При подходе «сверху-вниз» принимаются во внимание мнения представителей системы здравоохранения, распространенность и тяжесть заболевания, продолжительность лечения, инвалидность, негативные воздействия на общество в целом. Подход «снизу-вверх» учитывает потребности населения в медицинской помощи, запросы со стороны пациентов, информацию, полученную в ходе опросов, интервью, от фокус-групп, из средств массовой информации. Привлечение экспертов позволяет усилить влияние научного сообщества на принятие управленческих решений в системе здравоохранения.

Предложенные критерии могут быть использованы для сортировки и классификации наукоемких технологий в области превентивной и персонализированной медицины. Они могут служить общим языком диалоговых процедур для поддержки принятия управленческих решений, планирования и обучения представи-

телей профильных министерств и ведомств, финансирующих здравоохранение, медицинские научные исследования и разработки. Они могут составить основу научно-обоснованной рейтинговой системы научных приоритетов.

Заключение

Персонализированная медицина – быстро развивающаяся область, которая становится ядром медицинской индустрии. В условиях все большего внимания к качеству жизни и особенностям демографической ситуации обеспечение персонифицированного здоровья включается в число национальных приоритетов. Изменение парадигмы мышления и ориентации врачей и руководителей здравоохранения с преимущественно лечебно-диагностических на преимущественно персонализированные и предиктивно-превентивные подходы при активном участии пациентов потребует серьезных усилий государства и общества.

Можно выделить три необходимых компонента, которые обеспечивают внедрение результатов научных исследований в практику охраны здоровья: база научных знаний, политическая воля, научно-техническая стратегия. База научных знаний – это структурированная совокупность научной информации, необходимой для принятия управленческих решений. Политическая воля – это желание и конкретные обязательства органов власти финансировать новые программы и проекты. Научно-техническая стратегия – это директива применения базы научных знаний и политической воли для реализации программ и проектов в области превентивной и персонализированной медицины. Все три компонента в той или иной степени должны использоваться при формировании сбалансированной научно-технической политики, нацеленной на достижение поставленных целей.

Анализ элементов многоуровневой информационно-логической структуры научно-технологического потенциала и возможных отношений между элементами помогает лицу, принимающему решение, сформулировать стратегии выбора и решающие правила, адекватные реальности, сделать решения более обоснованными и рациональными. Анализируя связи целей с ресурсным обеспечением, можно выявить, какие средства требуются для успешной

реализации проводимой политики, какие цели достижимы. Сравнивая данные об уровне материально-технического обеспечения, можно оценить его влияние на степень выполнения поставленных задач, выяснить, в какой степени могут быть реализованы имеющиеся возможности, например, результаты научных исследований, наукоемкие технологии, насколько обоснована политика.

Новые результативные междисциплинарные технологии позволят улучшить качество диагностики и лечения заболеваний, снизить тяжесть течения болезни, эффективно использовать в общественном здравоохранении новые источники знаний, отказавшись от метода проб и ошибок [19]. Практическое применение современных методов поддержки принятия решений сможет дать существенный эффект за счёт более рационального использования ограниченных ресурсов. Наконец, предлагаемый инструментарий может способствовать генерации новых перспективных направлений в здравоохранении и медицине.

Литература

1. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений. М.: Наука. 2006. 181 с.
2. Маторин С.И., Михелев В.В. Системно-объектный детерминантный анализ. Построение таксономии предметной области // Искусственный интеллект и принятие решений. 2021. №1. С. 15-24.
3. Маторин С.И., Михелев В.В. Системно-объектный детерминантный анализ. Построение генетической и партитивной классификаций предметной области // Искусственный интеллект и принятие решений. 2022. №1. С. 26-34.
4. Маторин С.И., Михелев В.В. Системно-объектный детерминантный анализ. Партитивная классификация с помощью формально-семантической нормативной системы // Искусственный интеллект и принятие решений. 2022. №2. С. 17-26.
5. Маторин С.И., Петровский А.Б., Проничкин С.В., Стернин М.Ю., Шепелёв Г.И. Подходы к определению научных приоритетов в здравоохранении и медицине: зарубежный опыт // Труды ИСА РАН. 2019. Т. 69. № 3. С. 68-79.
6. Маторин С.И., Петровский А.Б., Проничкин С.В., Стернин М.Ю., Шепелёв Г.И. Подходы к определению научных приоритетов в здравоохранении и медицине: опыт СССР // Искусственный интеллект и принятие решений. 2020. № 3. С. 22-31.
7. Маторин С.И., Петровский А.Б., Проничкин С.В., Стернин М.Ю., Шепелёв Г.И. Подходы к определению научных приоритетов в здравоохранении и медицине: опыт России // Искусственный интеллект и принятие решений. 2020. № 3. С. 32-47.
8. Пальцев М.А., Белушкина Н.Н., Чабан Е.А. 4П-медицина как новая модель здравоохранения в Российской Федерации // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник Высшей школы организации здравоохранения. 2015. №2. С. 47-54.
9. Петровский А.Б. Групповой вербальный анализ решений. М.: Наука. 2019. 287 с.
10. Петровский А.Б., Лобанов В.Н. Многокритериальный выбор в пространстве признаков большой размерности: мультиметодная технология ПАКС-М // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 3. С. 92-104.
11. Петровский А.Б., Проничкин С.В., Стернин М.Ю., Шепелёв Г.И. Информационно-логическая модель национального научно-технологического потенциала // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 4. С. 3-19.
12. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.12.2012 № 2580-р «Об утверждении стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года». <http://government.ru/docs/all/85877/>
13. Burau V., Nissen N., Terkildsen M., Væggemose U. Personalised medicine and the state: a political discourse analysis // Health Policy. 2021. Vol. 125. P. 122-129.
14. Conley V., Hirsch S., Halbmaier K. et al. Bringing personalized medicine to a PACT Program: a quality improvement project // Journal of the American Psychiatric Nurses Association. 2020. Vol. 26. P. 77-85.
15. Cirillo D., Valencia A. Big data analytics for personalized medicine // Current Opinion in Biotechnology. 2019. Vol. 58. P. 161-167.
16. Davis J., Kumbale C., Voit E. Dynamical systems approaches to personalized medicine // Current Opinion in Biotechnology. 2019. Vol. 58. P. 168-174.
17. Djulbegovic B., Guyatt G. Progress in evidence-based medicine: a quarter century on // Lancet. 2017. Vol. 390. P. 415-423.
18. Figueres C., Landrigan P., Fuller R. Tackling air pollution, climate change, and NCDs: time to pull together // Lancet. 2018. Vol. 392. P. 1502-1503.
19. Hellman D. Trial and error: can good science be bad medicine? // New Republic. 1998. Vol. 218. P. 16-19.
20. Hemingway H., Asselbergs F., Danesh J. et al. Big data from electronic health records for early and late translational cardiovascular research: challenges and potential // European Heart Journal. 2018. Vol. 39. P. 1481-1495.
21. Horsley S., Morling J., Khaw F., Day M. Evaluating an “incident control” approach to non-communicable disease // Public Health. 2021. Vol. 197. P. 1-5.
22. Li Y., Xu H., Zhang L. Integration of transcriptomic, proteomic and metabolomic data to reveal the biological mechanisms of AAI injury in renal epithelial cells // Toxicology in Vitro. 2020. Vol. 70. P. 54-62.
23. Martinez R., Lloyd-Sherlock P., Soliz P. et al. Trends in premature avertable mortality from non-communicable diseases for 195 countries and territories, 1990–2017: a population-based study // The Lancet Global Health. 2020. Vol. 8. P. 511-523.
24. Morrato E. Implementation science: ensuring the return on our research investment // Neurorehabilitation and Neural Repair. 2018. Vol. 32. P. 762-768.
25. Naithani N., Sinha S., Misra P. et al. Precision medicine: concept and tools // Medical Journal Armed Forces India. 2021. Vol. 77. P. 249-257.

26. Pauli C., Hopkins B., Prandi D. Personalized in vitro and in vivo cancer models to guide precision medicine // *Cancer Discovery*. 2017. Vol. 7. P. 462-477.
27. Quake S., Cabe E., Chow E. Enabling technologies for personalized and precision medicine // *Trends in Biotechnology*. 2020. Vol. 38. P. 497-518.
28. Sallis J. Big issues for preventive medicine // *Preventive Medicine*. 2012. Vol. 55. P. 531-534.
29. Sanzo M., Cipolloni L., Borro M. et al. Clinical applications of personalized medicine: a new paradigm and challenge // *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2017. Vol. 18. P. 194-203.
30. Schork N. Artificial intelligence and personalized medicine // *Cancer Treatment and Research*. 2019. Vol. 178. P. 265-283.
31. Ten J., Hassim M. Improving the sensitivity of safety and health index assessment in optimal molecular design framework // *Computers and Chemical Engineering*. 2018. Vol. 124. P. 238-252.
32. Thompson B. Privileging the preventive medicine physician: a solution in search of a problem? // *Preventive Medicine*. 2019. Vol. 118. P. 352-353.
33. Todaka E., Shiga S., Mori C. A pilot education program in collaboration with World Health Organization to increase knowledge and awareness amongst medical students of "Environmental Preventive Medicine" // *Toxicology Letters*. 2018. Vol. 295. P. 256-263.
34. Toebe B., Hesselman M., Mierau J., Dijk J. A renewed call for transdisciplinary action on NCDs // *BMC International Health and Human Rights*. 2020. Vol. 20. P. 241-254.
35. Tretter F., Staska H. Medical knowledge integration and "systems medicine": needs, ambitions, limitations and options // *Medical Hypotheses*. 2019. Vol. 133. P. 86-94.
36. Voit E. Networks and dynamic models in systems medicine: overview // *Systems Medicine*. 2020. Vol. 3. P. 1-7.
37. Waijer M., Westendorp R., Maier A. Assessment of health status by molecular measures in adults ranging from middle-aged to old: ready for clinical use? // *Experimental Gerontology*. 2017. Vol. 87. P. 175-181.

Петровский Алексей Борисович. Доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник, руководитель отдела Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН. Профессор Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова; профессор Волгоградского государственного технического университета. Области исследований: дискретная математика, теория множеств, многокритериальный анализ решений, системы поддержки принятия решений, информационные технологии, системный анализ, научно-техническая политика, прогнозирование, планирование и организация научных исследований. E-mail: pab@isa.ru

Проничкин Сергей Васильевич. Кандидат технических наук, доцент. Старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН. Доцент Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»; доцент Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). Области исследований: информационные технологии, системный анализ, инженерия знаний, инновации, научно-техническая политика, экономика природопользования, экологическое право. E-mail: pronichkin@mail.ru

Шепелёв Геннадий Иванович. Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН. Области исследований: системный анализ, математическое моделирование, методы принятия решений. E-mail: gis@isa.ru

Information-Logical Model of Scientific and Technological Potential of Preventive and Personalized Medicine

A. B. Petrovsky, S. V. Pronichkin, G. I. Shepelev

Federal Research Center "Computer Science and Control" Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Personalization of medicine is a modern concept of health care. The paper outlines the goals and objectives of preventive and personalized medicine. A multi-level hierarchical information-logical structure has been formed for system modeling of development trends in preventive and personalized medicine. Methods for multi-aspect evaluation and selection of promising high technologies in preventive and personalized medicine are proposed.

Keywords: decision making, preventive and personalized medicine, system modeling, promising high technologies, multi-aspect evaluation.

DOI 10.14357/20718594220302

References

1. Larichev O.I. Verbal'nyy analiz resheniy [Verbal decision analysis]. M.: Nauka. 2006. 181 p.
2. Matorin S.I., Mikhelev V.V. Sistemno-ob'yektniy determinantnyy analiz. Postroyeniye taksonomii predmetnoy oblasti [System-object determinant analysis. Construction of a taxonomy of the subject area] // *Iskusstvennyy intellekt i*

- prinyatie resheniy [Artificial Intelligence and Decision Making]. 2021. No.1. P. 15-24.
3. Matorin S.I., Mikhelev V.V. Sistemno-ob'yektniy determinantnyy analiz. Postroyenie geneticheskoy i partitivnoy klassifikatsiy predmetnoy oblasti [System-object determinant analysis. Construction of genetic and partitive classifications of the subject area] // *Iskusstvenniy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making]. 2021. No.2. P. 26-34.
 4. Matorin S.I., Mikhelev V.V. Sistemno-ob'yektniy determinantnyy analiz.. Partitivnaya klassifikatsiya s pomoshch'yu formal'no-semanticheskoy normativnoy sistemy [System-object determinant analysis. Partitive classification using a formal semantic normative system] // *Iskusstvenniy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making]. 2022. No.2. P. 17-26.
 5. Matorin S.I., Petrovsky A.B., Pronichkin S.V., Sternin M.Yu., Shepelev G.I. Podkhody k opredeleniyu nauchnykh prioritetov v zdravookhraneni i meditsine: zarubezhniy opyt [Approaches to defining scientific priorities in healthcare and medicine: foreign experience] // *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences]. 2019. V.69. No.3. P.68-79.
 6. Matorin S.I., Petrovsky A.B., Pronichkin S.V., Sternin M.Yu., Shepelev G.I. Podkhody k opredeleniyu nauchnykh prioritetov v zdravookhraneni i meditsine: opyt SSSR [Approaches to defining scientific priorities in healthcare and medicine: the USSR experience] // *Iskusstvenniy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2020. No.3. P. 22-31.
 7. Matorin S.I., Petrovsky A.B., Pronichkin S.V., Sternin M.Yu., Shepelev G.I. Podkhody k opredeleniyu nauchnykh prioritetov v zdravookhraneni i meditsine: opyt SSSR [Approaches to defining scientific priorities in healthcare and medicine: Russia experience] // *Iskusstvenniy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2020. No.3. P. 32-47.
 8. Pal'tsev M.A., Belushkina N.N., Chaban E.A. 4P-meditsina kak novaya model' zdravookhraneniya v Rossiyskoy Federatsii [4P-medicine as a new model of healthcare in the Russian Federation] // *ORGZDRAV: novosti, mneniya, obuchenie. Vestnik Vyshey shkoly organizatsii zdravookhraneniya* [ORGZDRAV: news, opinions, training. Bulletin of the Higher School of Health Organization]. 2015. No.2. P. 47-54.
 9. Petrovsky A.B. Gruppovoy verbal'niy analiz resheniy [Group verbal decision analysis]. M.: Nauka, 2019. 287 p.
 10. Petrovsky A.B., Lobanov V.N. Mnogokriterial'niy vybor v prostranstve priznakov bol'shoy razmernosti: mul'timetodnaya tekhnologiya PAKS-M [Multi-criteria choice in the space of high-dimensional features: multi-method technology PAKS-M] // *Iskusstvenniy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2014. No.3. P. 92-104.
 11. Petrovsky A.B., Pronichkin S.V., Sternin M.Yu., Shepelev G.I. Informatsionno-logicheskaya model' natsional'nogo nauchno-tekhnologicheskogo potentsiala [Information-logical model of the national scientific and technological potential] // *Iskusstvenniy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2018. No.4. P. 3-19.
 12. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28.12.2012 № 2580-r "Ob utverzhdenii strategii razvitiya meditsinskoy nauki v Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda" [Decree of the Government of the Russian Federation of December 28, 2012 No. 2580-r "On approval of the strategy for the development of medical science in the Russian Federation for the period up to 2025"]. <http://government.ru/docs/all/85877/>
 13. Bureau V., Nissen N., Terkildsen M., Væggemose U. Personalised medicine and the state: a political discourse analysis // *Health Policy*. 2021. Vol. 125. P. 122-129.
 14. Conley V., Hirsch S., Halbmaier K. et al. Bringing personalized medicine to a PACT Program: a quality improvement project // *Journal of the American Psychiatric Nurses Association*. 2020. Vol. 26. P. 77-85.
 15. Cirillo D., Valencia A. Big data analytics for personalized medicine // *Current Opinion in Biotechnology*. 2019. Vol. 58. P. 161-167.
 16. Davis J., Kumbale C., Voit E. Dynamical systems approaches to personalized medicine // *Current Opinion in Biotechnology*. 2019. Vol. 58. P. 168-174.
 17. Djulbegovic B., Guyatt G. Progress in evidence-based medicine: a quarter century on // *Lancet*. 2017. Vol. 390. P. 415-423.
 18. Figueres C., Landrigan P., Fuller R. Tackling air pollution, climate change, and NCDs: time to pull together // *Lancet*. 2018. Vol. 392. P. 1502-1503.
 19. Hellman D. Trial and error: can good science be bad medicine? // *New Republic*. 1998. Vol. 218. P. 16-19.
 20. Hemingway H., Asselbergs F., Danesh J. et al. Big data from electronic health records for early and late translational cardiovascular research: challenges and potential // *European Heart Journal*. 2018. Vol. 39. P. 1481-1495.
 21. Horsley S., Morling J., Khaw F., Day M. Evaluating an "incident control" approach to non-communicable disease // *Public Health*. 2021. Vol. 197. P. 1-5.
 22. Li Y., Xu H., Zhang L. Integration of transcriptomic, proteomic and metabolomic data to reveal the biological mechanisms of AAI injury in renal epithelial cells // *Toxicology in Vitro*. 2020. Vol. 70. P. 54-62.
 23. Martinez R., Lloyd-Sherlock P., Soliz P et al. Trends in premature avertable mortality from non-communicable diseases for 195 countries and territories, 1990–2017: a population-based study // *The Lancet Global Health*. 2020. Vol. 8. P. 511-523.
 24. Morrato E. Implementation science: ensuring the return on our research investment // *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2018. Vol. 32. P. 762-768.
 25. Naithani N., Sinha S., Misra P. et al. Precision medicine: concept and tools // *Medical Journal Armed Forces India*. 2021. Vol. 77. P. 249-257.
 26. Pauli C., Hopkins B., Prandi D. Personalized in vitro and in vivo cancer models to guide precision medicine // *Cancer Discovery*. 2017. Vol. 7. P. 462-477.
 27. Quake S., Cabe E., Chow E. Enabling technologies for personalized and precision medicine // *Trends in Biotechnology*. 2020. Vol. 38. P. 497-518.
 28. Sallis J. Big issues for preventive medicine // *Preventive Medicine*. 2012. Vol. 55. P. 531-534.
 29. Sanzo M., Cipolloni L., Borro M. et al. Clinical applications of personalized medicine: a new paradigm and challenge // *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2017. Vol. 18. P. 194-203.

30. Schork N. Artificial intelligence and personalized medicine // *Cancer Treatment and Research*. 2019. Vol. 178. P. 265-283.
31. Ten J., Hassim M. Improving the sensitivity of safety and health index assessment in optimal molecular design framework // *Computers and Chemical Engineering*. 2018. Vol. 124. P. 238-252.
32. Thompson B. Privileging the preventive medicine physician: a solution in search of a problem? // *Preventive Medicine*. 2019. Vol. 118. P. 352-353.
33. Todaka E., Shiga S., Mori C. A pilot education program in collaboration with World Health Organization to increase knowledge and awareness amongst medical students of “Environmental Preventive Medicine” // *Toxicology Letters*. 2018. Vol. 295. P. 256-263.
34. Toebes B., Hesselman M., Mierau J., Dijk J. A renewed call for transdisciplinary action on NCDs // *BMC International Health and Human Rights*. 2020. Vol. 20. P. 241-254.
35. Tretter F., Stastka H. Medical knowledge integration and “systems medicine”: needs, ambitions, limitations and options // *Medical Hypotheses*. 2019. Vol. 133. P. 86-94.
36. Voit E. Networks and dynamic models in systems medicine: overview // *Systems Medicine*. 2020. Vol. 3. P. 1-7.
37. Waijer M., Westendorp R., Maier A. Assessment of health status by molecular measures in adults ranging from middle-aged to old: ready for clinical use? // *Experimental Gerontology*. 2017. Vol. 87. P. 175-181.

Petrovsky Alexey B. Doctor of technical sciences, professor. Chief Researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control”, Russian Academy of Sciences; Professor, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University; Professor, Volgograd State Technical University. Research areas: discrete mathematics, theory of multisets, multiple criteria decision analysis, decision support systems, information technologies, systems analysis, science and technological policy, R&D forecasting, planning and management. E-mail: pab@isa.ru

Pronichkin Sergey V. Candidate of technical sciences, docent. Senior Researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control”, Russian Academy of Sciences; Associate professor, National Research Technological University “MISiS”; Associate Professor, Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University). Research areas: information technologies, systems analysis, knowledge engineering, innovation, science and technological policy, environmental economics, environmental law. E-mail: pronichkin@mail.ru

Shepelev Gennady I. Candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher. Leading Researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control”, Russian Academy of Sciences. Research areas: systems analysis, mathematical modeling, decision making methods. E-mail: gis@isa.ru