

Биомедицина-2040

Горизонты науки глазами ученых



ФАНО России
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ



2017



ФАНО России
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ



Биомедицина-2040 **Горизонты науки глазами ученых**

Санкт-Петербург
2017

Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

Биомедицина-2040. Горизонты науки глазами ученых/Под редакцией В.Н. Княгинина, М.С. Липецкой. СПб.: Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», 2017 – 95 с.

Издание основывается на результатах проекта по прогнозированию перспектив развития научных тематик в рамках сотрудничества Российского научного фонда, Федерального агентства научных организаций и Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

В.Н. Княгинин – Методический редактор
М.С. Липецкая – Руководитель рабочей группы

Рабочая группа: Т.Н. Трубникова, А.П. Сологуб, К.В. Сухарев, В.А. Адартасов, Е.А. Римских

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение.....	8
Описание методологии.....	10
Большие вызовы, на которые будет отвечать биомедицина в долгосрочной перспективе.....	13
Мегатренды в биомедицинской науке.....	24
Ожидаемые прорывы биомедицинской науки.....	35
Обзор политик в области биомедицины.....	69
Источники.....	75
Приложение 1. Описание экспертного семинара.....	79
Приложение 2. Описание экспертной сессии.....	80
Приложение 3. Мировая практика форсайт-исследований.....	82
Приложение 4. Ключевые доклады о развитии биомедицинских исследований.....	93

О Д О К Л А Д Е

Научные исследования имеют безусловное влияние на экономическое благополучие страны. Именно поэтому стратегия развития научно-технологической сферы приравнивается к стратегии безопасности государства. Важный акцент сделан на стратегическое прогнозирование, форсайт-исследования.

Настоящий доклад основывается на результатах проекта Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», Федерального агентства научных организаций и Российского научного фонда по прогнозированию перспектив развития научных тематик. Цель проекта – определить, какие направления исследований сегодня являются наиболее перспективными, в какие тематики необходимо уже сейчас вкладывать ресурсы, чтобы получить наибольший эффект. Исследование фокусируется на таких научных направлениях, как биомедицина, нутрициология и наука о борьбе с инфекционными заболеваниями.

Работа лежит в русле Стратегии научно-технологического развития России до 2035 года, утвержденной указом Президента Российской Федерации № 642 от 1 декабря 2016 г. (далее – СНТР), и учитывает важность больших вызовов как основы для принятия решений и формирования государственных приоритетов в сфере науки. Выбранные для исследования научные направления соответствуют задачам, обозначенным в СНТР.

В основе – метод Disruptive Foresight, разработанный ЦСР «Северо-Запад». Временной промежуток, которому посвящен отчет, охватывает период с 2016 г. до 2040 г. Отбор вызовов, мегатрендов и прорывов, на которых фокусируется подход, осуществлялся посредством экспертной оценки ведущих исследователей, сделанной на круглых столах и форсайт-сессии, а также с помощью анкетирования. В доклад также включены интервью и цитаты из выступлений лидеров научного сообщества. Преимуществом подхода Disruptive Foresight является открытость и приоритет диалога.

Доклад, посвященный биомедицине, состоит из следующих основных частей:

- описание больших вызовов, стоящих перед исследованиями в сфере биомедицины. В частности, дан ответ на вопрос, какие социальные запросы стоят перед исследователями, а также демонстрируется, чем грозит отсутствие реагирования на эти проблемы;
- описание мегатрендов, существующих сейчас в биомедицине, и того, как они начинают масштабироваться;
- анализ прорывных направлений, способных изменить парадигму биомедицины уже сегодня. Каждая прорывная тематика описана с точки зрения наукометрических и библиометрических показателей (динамики количества публикаций, среднегодового уровня цитируемости, а также динамики уровня плотности научной сети).

Работа дополнена описанием мировой практики форсайт-исследований и анализом политик различных стран (включая Россию) в отношении биомедицины. В приложении к отчету представлены краткие версии ключевых политических и научных документов, касающихся развития биомедицины.

Составители настоящего издания благодарят Российский научный фонд и Федеральное агентство научных организаций за участие в проекте по прогнозированию перспектив развития научных тематик, предоставление площадки и привлечение экспертов. Авторский коллектив выражает благодарность всем исследователям, привлеченным к работе: членам экспертного совета и грантополучателям Российского научного фонда, руководителям подведомственных организаций федерального агентства научных организаций, сотрудникам НИЯУ МИФИ, ТГУ, ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Отдельные слова благодарности и глубокой признательности выражаем генеральному директору Российского научного фонда А.В. Хлунову, Ю. В. Симачёву, занимавшему на момент работы над докладом должность заместителя генерального директора Российского научного фонда, М.М. Котюкову, руководителю Федерального агентства научных организаций и А.М. Медведеву, первому заместителю руководителя Федерального агентства научных организаций, за личное участие в проекте.

S U M M A R Y

Scientific research has absolute influence on the economic development of a state. This influence is the reason why strategic documents for scientific and technological development are paramount in securing a country's future. In this regard, a lot of attention is given to strategic research forecasting and foresight practices.

This report is based on results of the project conducted by the Centre for Strategic Research Northwest (CSR Northwest), the Federal Agency for Scientific Organizations and the Russian Science Foundation aimed at forecasting the prospects of scientific topics. The purpose of the project is to identify the most promising research areas, thereby determining topics where resource investment is required for maximum effect. The first phase of the project includes the study of the following scientific areas: biomedicine, nutrition science and infectious diseases science.

The report corresponds to Russia's strategy for scientific and technological development for the period until 2035, taking into account the importance of Grand Challenges as a ground for decision-making process and setting priorities in science. The areas of research coincide with the priorities outlined in the aforementioned strategy.

The method of the research, known as 'disruptive foresight', is developed by CSR Northwest. The research covering the time period of 2016 up to 2040 is focused on Grand Challenges, megatrends and disruptive theories in biomedicine. Leading researchers and experts selected these themes during workshops, surveys and foresight sessions conducted within the project. The report also includes interviews of leading researchers in biomedicine.

The advantage of the method is that it features openness and dialogue as a priority.

This report on biomedicine consists of three main parts:

- description of Grand Challenges in biomedicine, covering in particular, details regarding which social issues the research is facing, as well as the development of an understanding of threats to responses to these problems;

- description of megatrends in biomedicine and how they are being scaled;

- analysis of disruptive theories that are capable of changing the paradigm of biomedicine. Each theory is described with scientometric and bibliometric indicators, including dynamics regarding the number of publications, citation averages and dynamics of the network density level of scientific collaborations.

In addition, the research contains description of the worldwide foresight research experience and summaries of key political and scientific documents regulating the development of biomedicine throughout the world.

Authors of this publication are grateful to the Russian Science Foundation and the Federal Agency of Scientific Organizations for participation in the project on forecasting the prospects for the development of scientific topics, provision of a site and experts.

We are grateful to all researchers involved in the work on the project: members of the expert council and grantees of the Russian Science Foundation, heads of subordinate organizations of the Federal Agency of Scientific Organizations, employees of National Research Nuclear University MEPhI, Tomsk State University, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

We express profound gratitude to the Director General of the Russian Science Foundation Alexander V. Khlunov, to Yuriy V. Simachev, who at the time of work on the report hold the position of Deputy Director General of the Russian Science Foundation, to Mikhail M. Kotyukov, head of the Federal Agency of Scientific Organizations, and to Alexey M. Medvedev, the first deputy head of the Federal Agency of Scientific Organizations, for their personal participation in the project.

В В Е Д Е Н И Е

Настоящий доклад основывается на результатах коллективной работы Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» (далее – ЦСР «Северо-Запад»), Российского научного фонда (далее – РНФ) и Федерального агентства научных организаций (далее – ФАНО России) по прогнозированию перспектив развития научных тематик, начатой в августе 2016 г.

Цель исследования – совместно с широким кругом участников из научного сообщества определить большие вызовы, тенденции развития, а также основные события научных областей, формирующие контекст проблем и возможностей, эффективный ответ на которые предполагает новый уровень глубины научного понимания природных и социальных процессов, расширение доступного обществу портфеля технологий по тематикам:

1. биомедицина;
2. наука о борьбе с инфекционными заболеваниями;
3. нутрициология.

Выбор научных тематик для исследования обусловлен тем, что, во-первых, изменения в этих сферах способны кардинально повлиять на жизнь и здоровье человека, а значит – на траекторию социально-экономического развития общества. Во-вторых, согласно СНТР «переход к персонализированной и прогностической медицине, противодействие новым и возвращающимся инфекциям, разработка и внедрение систем рационального и целевого применения антимикробных препаратов, готовность к новым демографическим и социальным условиям» выделяются в качестве одного из приоритетов научно-технологического развития страны на ближайшие 10–15 лет.

Прогноз был сформирован методом форсайт-исследования (исследования перспектив развития научных тематик), который широко практикуется за рубежом. Форсайт – часть системы принятия решений, в том числе стратегического характера. Результаты форсайта ложатся в основу стратегических решений и используются как самостоятельные публичные документы. Лидирующие по научной продуктивности страны систематически проводят форсайты:

- Япония и Германия занимаются научно-технологическим прогнозированием с 1971 и 1991 года соответственно;
- Великобритания уделяет большое внимание форсайт-прогнозированию развития социально-экономических областей;
- страны Скандинавии объединили свои усилия для проведения форсайта в области развития информационно-коммуникационных технологий.

Основное отличие этой работы от других форсайт-исследований в России – строгое сосредоточение на науке, полный учет особенностей ее развития, внутренней динамики, ее взаимосвязи с внешним миром. Объектом прогнозирования являются фундаментальные исследования, поскольку, согласно традиционной, «линейной», модели взаимодействия науки и технологий, именно фундаментальная наука является источником технологических инноваций, и, соответственно, возможностей для экономического роста. При этом базовым условием для успешного следования по пути инновационного развития является акцент университетов и федерального правительства на фундаментальных исследованиях. Сейчас линейная модель подвергается критике как несостоятельная или неуниверсальная. На смену ей предлагаются другие, предполагающие более комплексное взаимодействие института «наука–технологии–инновации», но, какие бы модели ни предлагались, все они исходят из того, что наука всегда принимает участие, непосредственное или опосредованное, в технологических исследованиях и разработках; каждая из моделей также предполагает, что зависимость современных технологий от фундаментальных исследований со временем будет только возрастать.

В основе работы лежит методология Disruptive Foresight, разработанная ЦСР «Северо-Запад». Метод позволяет спрогнозировать, как, когда и при каких условиях произойдет слом долгосрочных тенденций развития научных тематик. Базовая гипотеза проекта состоит в том, что ученые стремятся ответить на большие вызовы, стоящие перед обществом. В то же время в науке есть внутренняя динамика. Из научных загадок рождаются прорывы – революционные теории, которые заставляют под другим углом взглянуть на старые проблемы, а некоторые ученые интуитивно предсказывают и фантастические технологии, которые сложно очертить даже на уровне гипотез. Научные изыскания в области прорыва и фантастики – это поисковые исследования с высоким риском. Но именно в прорывные исследования стоит направлять государственные и частные инвестиции, а о фантастике помнить как о резервуаре многообещающих идей. От того, поддержит ли государство прорывные исследования, зависит будущее социально-экономическое развитие страны. Сложность состоит в том, что прорывная тематика слабо заметна на картах науки и библиометрии: ей занимаются разрозненные, часто междисциплинарные, исследовательские группы. Выявить эту область – задача научного форсайта.

Для России эта работа имеет особую актуальность, поскольку концентрация ресурсов на

финансировании тематических областей исследований, где уже созданы заделы, а также формирование тем на базе предложений самих исследователей, уже привели к выбору в пользу старой, а не новой прорывной тематики и, соответственно, – догоняющего характера развития науки и экономики.

В основе работы лежит открытый диалоговый подход, поиск консенсусного видения. К работе над исследованием научных перспектив было привлечено более 100 исследователей: членов экспертного совета и грантополучателей РНФ, руководителей подведомственных организаций ФАНО России, сотрудников ведущих российских университетов, входящих в «Проект 5-100»; представителей научных сообществ Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Томска, Новосибирска.

Мнения представителей научного сообщества, озвученные во время коллективных обсуждений, стали основой для настоящего доклада. В нем заключено видение главных вызовов для науки и мегатрендов ее развития, описана сложная картина того, на чем **стоит** (или не **стоит**) сосредоточить внимание в ближайшие годы и в долгосрочной перспективе.

Работа найдет широкое применение в сфере планирования научной деятельности. Лица, принимающие решения, найдут в докладе квалифицированную оценку научных тематик, на которые требуется перераспределить средства. Бизнес-сообщество получит представление о том, куда стоит инвестировать и в какие исследовательские группы можно включить своих представителей. Для профессионального научного сообщества отчет интересен как новый аналитический продукт, задающий рамку развития научной деятельности. Наконец, молодым исследователям документ предлагает перспективные тематики научных исследований.

О П И С А Н И Е М Е Т О Д О Л О Г И И

В основе подхода лежит работа с ведущими российскими исследователями в сфере биомедицины. В качестве участников экспертных сессий, анкетирования и интервью отбирались исследователи, являющиеся руководителями подведомственных организаций ФАНО России, а также получатели грантов и представители экспертных советов РФФИ. Критериями стали: экспертиза и лидерство в области биомедицины, заинтересованность в изменениях, системное видение развития науки, возможность представить нестандартные и необычные научные идеи, готовность к работе в коллективном формате. Исследователи были вовлечены в работу над форсайтом в рамках следующих мероприятий:

- экспертный семинар: проводился 27 сентября 2016 г. в формате круглого стола по вопросам модератора. В нем приняли участие 12 ученых. В рамках экспертного семинара обсуждались вызовы и мегатренды науки;

- анкетирование: проводилось в период с 7 по 20 октября 2016 г. и охватило 26 исследователей. Анкетирование было призвано верифицировать представленные на экспертных семинарах вызовы и мегатренды;

- форсайт-сессия: прошла 21 октября 2016 г. с участием 24 экспертов. На первом этапе работы групп было проведено голосование в отношении вызовов, сформулированных на экспертных семинарах. Участники могли отдать свой голос нескольким вариантам и аргументировать свою позицию, а также предложить вызов, не представленный в изначальном списке. На втором этапе группы составляли матрицу научной карты, включающую прорывы, магистральные направления, зрелую науку и фантастику. На третьем – стрелу времени (таймлайн), обозначая при этом год, когда произойдет смена вектора и возможные условия изменения;

- интервью: 6 ведущих исследователей излагали свои представления о перспективных направлениях, возможных будущих открытиях и прорывах в науке.

Сбор и обработка результатов проводились по методике Disruptive Foresight, разработанной ЦСР «Северо-Запад».

Цель метода Disruptive Foresight – выделить точки, условия и направления бифуркации, когда работа системы радикально изменится.

Исследование состоит из следующих шагов:

Первый шаг – совместно с узким кругом ведущих ученых определить большие вызовы, на которые будет отвечать биомедицина в долгосрочной перспективе.

В СНТР зафиксировано, что приоритеты науки должны быть сформированы именно в соответствии с большими вызовами, рассматриваемыми как объективно требующая реакции со стороны государства совокупность проблем, угроз и возможностей, сложность и масштаб которых таковы, что они не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счет увеличения ресурсов¹.

Большие вызовы обуславливают выбор целей и задач научного развития в ряде стран мира, они стимулируют развитие механизмов господдержки, направленных на ускоренное преобразование научных идей в технологии, а технологий – в востребованные рыночные продукты.

Модель больших вызовов (Grand Challenges) получила распространение в последние 20–30 лет. Она сложилась из понимания того, что наука должна искать решение общественных проблем, чтобы быть эффективной. Большие вызовы обуславливают выбор целей и задач научного развития в ряде стран мира. Вызовы относятся к разряду «больших», если они:

- затрагивают ключевые общественные блага: безопасность, здоровье и качество жизни населения, доступность ресурсов экономического роста и развития обществу и его членам, устойчивость последнего, главные этические ценности;

- несут в себе системные риски для критически важных инфраструктур и общественных систем страны либо отражают потенциальные, но автоматически не реализуемые большие возможности социально-экономического развития;

- требуют коренной перестройки общественных процессов, способов действия государства, гражданского общества, бизнеса, их выхода за пределы доступных знаний, способов деятельности и комплекса используемых технологий.

Сформулированные исследователями на вышеописанных мероприятиях вызовы подкреплены данными ООН, ВОЗ, ФАО, ОЭСР, IMS Health Institute, Alzheimer's Disease International, Европейской Комиссии и др.

¹Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (Просмотрено 20.12.2016)

Второй шаг – определить мегатренды биомедицинской науки и сформировать научную

МАГИСТРАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- Направление формируется под влиянием мегатрендов.
- Направление набирает популярность, растут объемы научного знания и привлекаемых ресурсов.
- Сформированы устойчивые организационные структуры.
- Теории доминируют, лидеры являются авторитетами в научном сообществе.

ЗРЕЛАЯ НАУКА

- Направление теряет популярность.
- Объемы научного знания и привлекаемых ресурсов неуклонно снижаются.
- Снижается эффективность и продуктивность вложений.
- В этой области есть признанные теории и авторитеты, работают устойчивые организационные структуры.

Третий шаг – определить прорывы, при которых произойдет смена вектора и типа развития мегатренда.

Прорывные области выявляются, чтобы получить радикальные ответы на существующие «большие вызовы» и сделать прогноз, как изменится научная область во временных горизонтах 2016–2020, 2021–2030, 2031–2040. В зависимости от движения вектора, в каждом временном горизонте выделяются три группы прорывов:

- ключевые, требующие немедленной реакции. В нашей модели карты науки это прорывы, которые, вероятно, в скором времени станут магистральным направлением или зрелой наукой;
- кандидатные, которые могут принести радикальные изменения, но точные сроки и масштабы изменений предсказать невозможно. В нашей модели карты науки это прорывы, «оставшиеся» в категории прорывов;
- вероятные, перспективные, но недооцененные. В нашей модели карты науки это фантастические теории, ставшие прорывами.

Прорывные направления, определенные на форсайт-сессии, были уточнены и скорректированы при участии научного редактора.

Описание каждого прорывного направления содержит:

- анализ абсолютной динамики мировой публикационной активности, а также публикационной активности российских авторов по направлению за период с 1996 по 2016 гг. на основе статей, опубликованных в базе данных Scopus. Данные из Scopus признаны Минобрнауки РФ в качестве критериев общероссийской системы

карты развития биомедицины на 2016 год, разделив научные теории по следующим направлениям:

ПРОРЫВ

- Направление быстро привлекает новые ресурсы, но не достигло значимого масштаба – это зона возникновения новых теорий и качественно нового знания. Оно может оказать революционное или разрушающее воздействие на области традиционной науки, «перевернуть научный мир».
- Организационные структуры и программы находятся в процессе формирования.

ФАНТАСТИКА

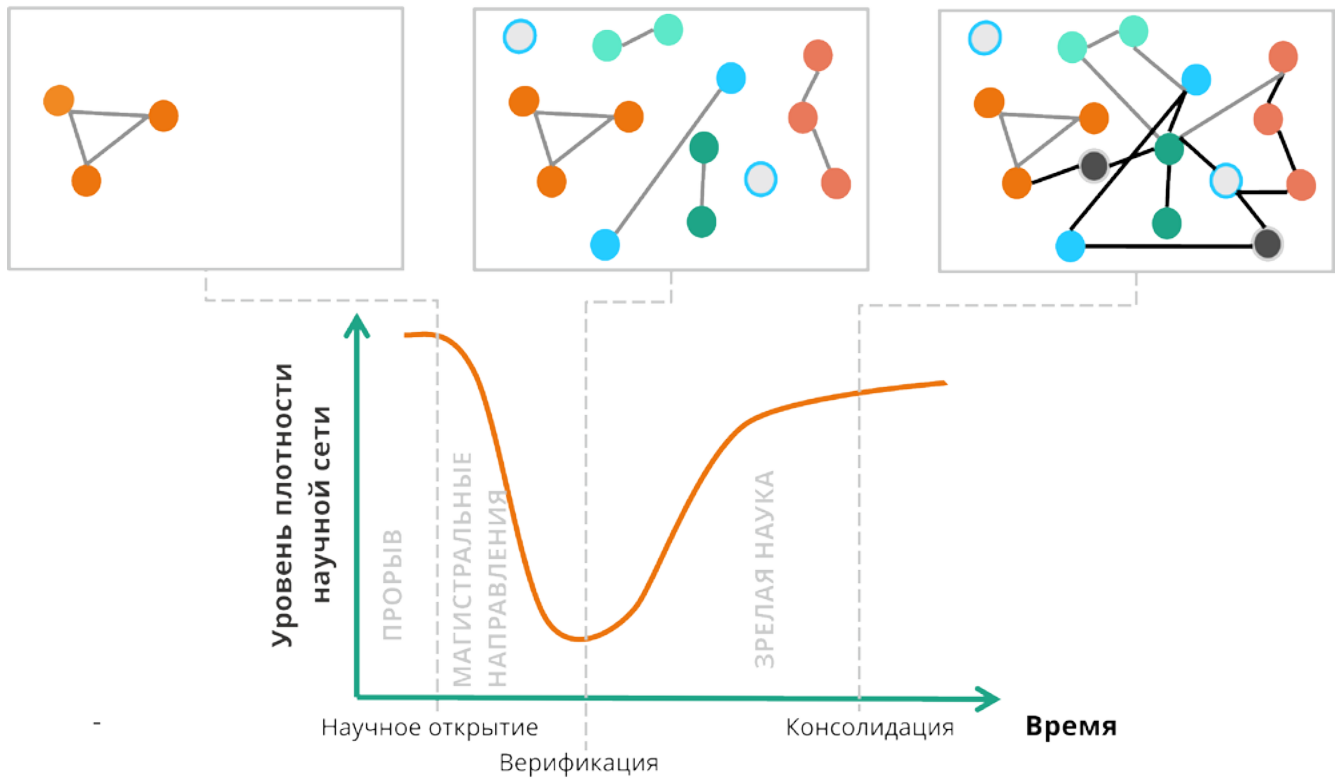
- Научные коллективы сложно отделить от субкультуры, а опытное знание – от магии. Областью интересуются футурологи, поскольку она рождает неожиданные и многообещающие концепты и новые идеи.
- Направление пока не способно привлечь существенные бюджеты, чтобы сформировать устойчивую финансовую и организационную основу для своей деятельности.
- Опытная база остается на уровне идей.

оценки эффективности деятельности высших учебных заведений. Статьи подбирались через ключевые слова, связанные с исследуемой темой. При необходимости использовалось несколько блоков ключевых слов, данные о которых объединялись в итоговой выборке. Для определения уровня публикационной активности российских исследователей по направлению к запросу в базу данных добавлялся параметр аффилиации по стране. Вследствие особенностей базы данных Scopus, принадлежность к стране определяется по ведущему автору;

- анализ среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью: показатель того, сколько в среднем приходится цитирований на одну статью. Данные о количестве цитирований статей также брались из базы данных Scopus, после чего высчитывался средний показатель за каждый год. Количество цитирований в Scopus показывает количество статей, находящихся в базе данных Scopus, в которых исследуемая статья была процитирована хотя бы один раз;

- анализ уровня плотности научной сети. Уровень плотности научной сети определяет силу связи (коллаборации) между научными учреждениями: чем выше значение индекса, тем менее раздроблено сотрудничество между вузами. Высокий уровень означает, что тематика, разрабатываемая небольшим коллективом (группой научных учреждений), находится на стадии гипотезы или научного открытия.

Динамика уровня плотности научной сети в рамках модели научной карты



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Fraunhofer Institute for Technology Trend Analysis

Большие вызовы, на которые будет отвечать биомедицина в долгосрочной перспективе

Большие вызовы – объективно требующая реакции со стороны государства совокупность проблем, угроз и возможностей, сложность и масштаб которых таковы, что они не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счет увеличения ресурсов

(Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации)

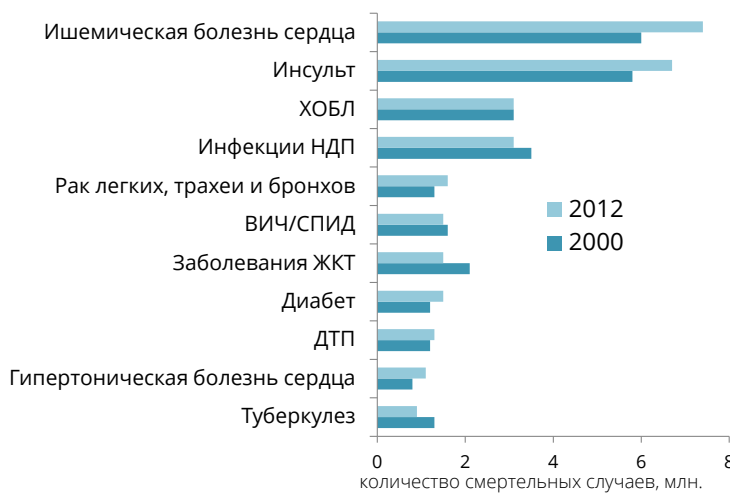
Достигнут предел эффективности существующей парадигмы в медицине

Почему это важно?

Сердечно-сосудистые, респираторные заболевания и рак – социально значимые заболевания. Уже 50 лет они являются основными причинами смертности в мире. В развитых странах к ним добавляется болезнь Альцгеймера². Смертность по данным ключевым заболеваниям в мире продолжает нарастать.

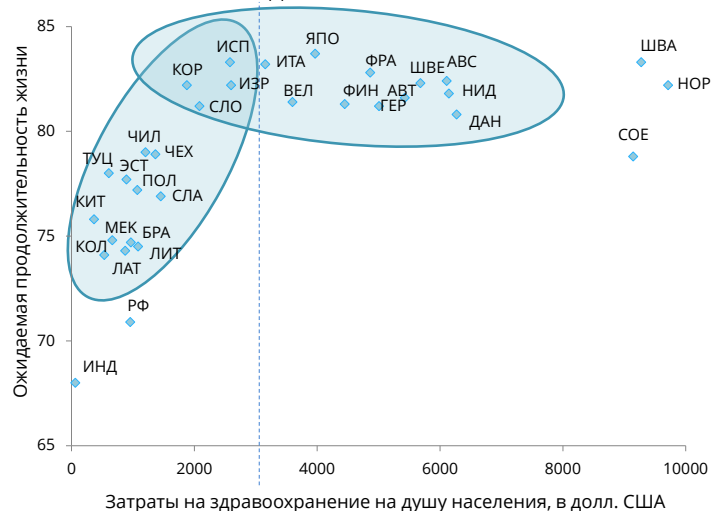
Многолетнее сохранение структуры заболеваний свидетельствует о том, что сложившаяся и ставшая традиционной медицинская модель неэффективна для борьбы с такими заболеваниями. Для развитых стран это также проявляется в установившемся пределе средней продолжительности жизни, вне зависимости от увеличения расходов на здравоохранение.

Основные причины смерти (2000–2012 гг.)



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам ВОЗ (2013)

Затраты на здравоохранение на душу населения, долл. США



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам OECD (2013)

«Несмотря на колоссальное развитие медикаментозной терапии, эндоваскулярных методов лечения, именно сердечно-сосудистые заболевания удерживают первые места в списке причин смертности населения развитых стран уже почти 50 лет. Это обусловлено тем, что современная медицина столкнулась с исчерпанием возможностей медикаментозной терапии для улучшения функции сердца»

Е.В. Парфенова, РКНПК

«До настоящего времени онкологических пациентов лечат на основе парадигмы, разработанной в 1950-ые гг. Вот химиотерапия – сейчас мы придумаем «волшебную пулю», которая победит все опухоли (попросту убьет их). Концепция «волшебной пули» – это вообще XIX в. Оказывается, что эта концепция не работает – все это знают. Врачи, которые лечат пациентов, это знают. Поэтому концепция, основанная на убийстве опухоли, требует кардинального пересмотра. Клиницисты-онкологи подходят к тому, что с опухолями надо не радикально как-то поступать, а стремиться переводить их в хроник – это такая сложная синтетическая концепция, основанная на принципах экологии и эволюционной биологии. И это будет смена онкологической парадигмы»

А.П. Козлов, ЧНИУ «Биомедицинский центр», СПбПУ

²10 ведущих причин смерти в мире // ВОЗ <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/index4.html> (Просмотрено 14.11.2016)

В России сердечно-сосудистые заболевания и рак тоже являются главными причинами смертности (60% и 16% случаев соответственно)³, данная структура смертности по заболеваниям остается однородной на протяжении многих десятилетий.

При этом в России у мужчин число смертей от болезней системы кровообращения начинает быстро нарастать уже после достижения 25-летнего возраста⁴.

Структура смертности по заболеваниям в России, %



«Вызов можно сформулировать так – стремление ликвидировать несоответствие между растущим уровнем жизни, возрастом и нерешенными проблемами лечения многих заболеваний: рак, ВИЧ, сердечно-сосудистые, нейродегенеративные заболевания»

В.Ю. Тимошенко

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Аполихина О.И. и др. (2015)

К чему это приведет?

По данным ВОЗ, объемы неинфекционных заболеваний (НИЗ) растут: сейчас в мире 46 млн человек болеют деменцией, и каждые 20 лет их число будет возрастать вдвое, превысив 131 млн к 2050 г. При этом в развитых странах диагностируются только 20–50% случаев болезни Альцгеймера⁵.

НИЗ наиболее характерны для развитых стран, где продолжительность жизни высока: это системные болезни, болезни «износа» организма. По прогнозам, к 2030 г. неинфекционные заболевания будут причиной почти 74% случаев смерти в мире (для сравнения в 2000 году – 38%).

Какие шаги предпринимаются?

Сложившаяся ситуация заставила Всемирную организацию здравоохранения выпустить в 2013 г. Глобальный план действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними до

2030 г. Одна из целей плана – снижение случаев преждевременной смерти от рака, сердечно-сосудистых заболеваний, диабета и хронических респираторных заболеваний на 25%⁶.

«Если формулировать «тематические» приоритеты, то четыре основных вызова: онкологические, инфекционные, сердечно-сосудистые и нейродегенеративные заболевания»

И.В. Лядова, ЦНИИТ

«Постоянно происходит столкновение с новыми инфекциями. Эпидемия СПИДа, а до нее «болезнь легионеров» стали новостью»

А.П. Козлов, ЧНИУ «Биомедицинский центр», СПбПУ

³Общественное здравоохранение в Российской Федерации: основные проблемы и достижения // ВОЗ 2017 г. <http://www.who.int/countries/rus/profile/ru/> (Просмотрено 17.10.2016)

⁴Вишневецкий А.Г. Глобальные демографические вызовы здравоохранению // Демоскоп Weekly. 2015. №653 – 654

⁵World Alzheimer Report 2015 // Alzheimer's Disease International <http://www.worldalzreport2015.org/downloads/world-alzheimer-report-2015.pdf> (Просмотрено 02.11.2016)

⁶Глобальный план действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг. // Всемирная организация здравоохранения http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/94384/5/9789244506233_rus.pdf (Просмотрено 17.10.2016)

Разрыв между потребностями и доступными технологиями в сфере лечения и диагностики

Почему это важно?

По состоянию на 2013 г. на российском рынке было доступно только 34 из 154 мировых инновационных препаратов, поступивших в продажу за предыдущие 4 года и направленных на лечение социально значимых заболеваний. В 2015 г. в России продавалось только 19 из 49 новых препаратов для

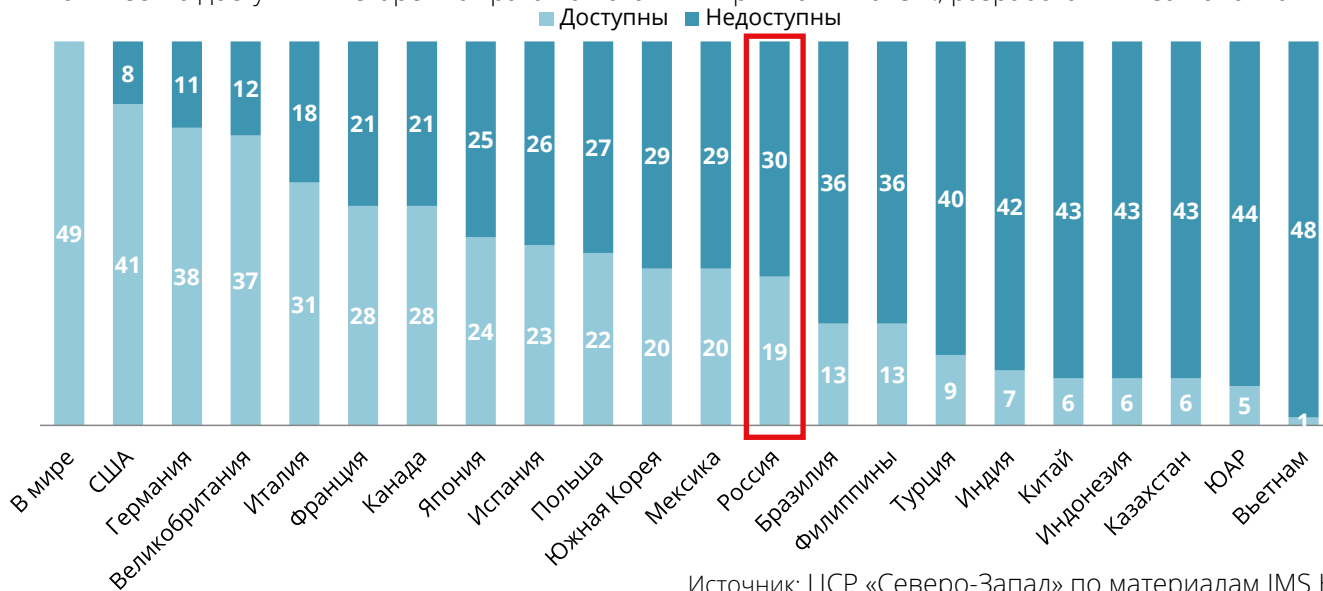
лечения рака. При этом недоступными оказались передовые медикаменты в области таргетной иммунотерапии и радиотерапии для лечения рака⁷. Таким образом, Россия не попадает в топ-10 стран по доступности новейших лекарств, разрабатываемых в мире.

Количество доступных лекарств на локальных рынках в 2013 г., выведенных на рынок за 2008–2012 гг.

Страна	В мире	США	Япония	Германия	Франция	Великобритания	Канада	Южная Корея	Бразилия	Россия	Индия	Китай
Всего	154	104	53	82	58	78	60	45	45	34	21	32
% от общего кол-ва		68%	34%	53%	38%	51%	39%	29%	29%	22%	14%	21%
Противовирусные	8	5	5	4	2	4	4	1	3	2	2	3
Обезболивающие	8	5	5	4	2	4	4	1	1	2	2	3
Препараты крови	9	6	2	4	4	4	4	4	6	2	3	2
Сердечно-сосудистые	10	6	2	5	1	4	4	4	2	1	3	1
ЦНС	12	8	3	7	6	6	3	0	4	1	3	1
Дерматологические	3	2	2	2	1	2	2	1	1	1	0	0
Диабетические	11	5	8	4	2	6	3	5	3	3	4	3
Желудочно-кишечные	6	4	1	3	2	3	3	2	1	1	0	1
Гормональные	10	6	2	5	3	4	3	5	1	2	1	2
Иммунные	9	8	3	9	6	8	5	2	6	4	0	3
Метаболические	6	4	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Онкологические	41	31	10	26	20	24	18	13	10	9	3	7
Офтальмологические	5	4	2	2	1	2	2	3	4	0	1	2
Другие	3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Респираторные	7	5	3	5	3	5	4	2	3	2	1	2

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Миклашовой Е.В. (2015)

Количество доступных лекарств от рака на локальных рынках в 2015 г., разработанных за 2010–2014 гг.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IMS Health

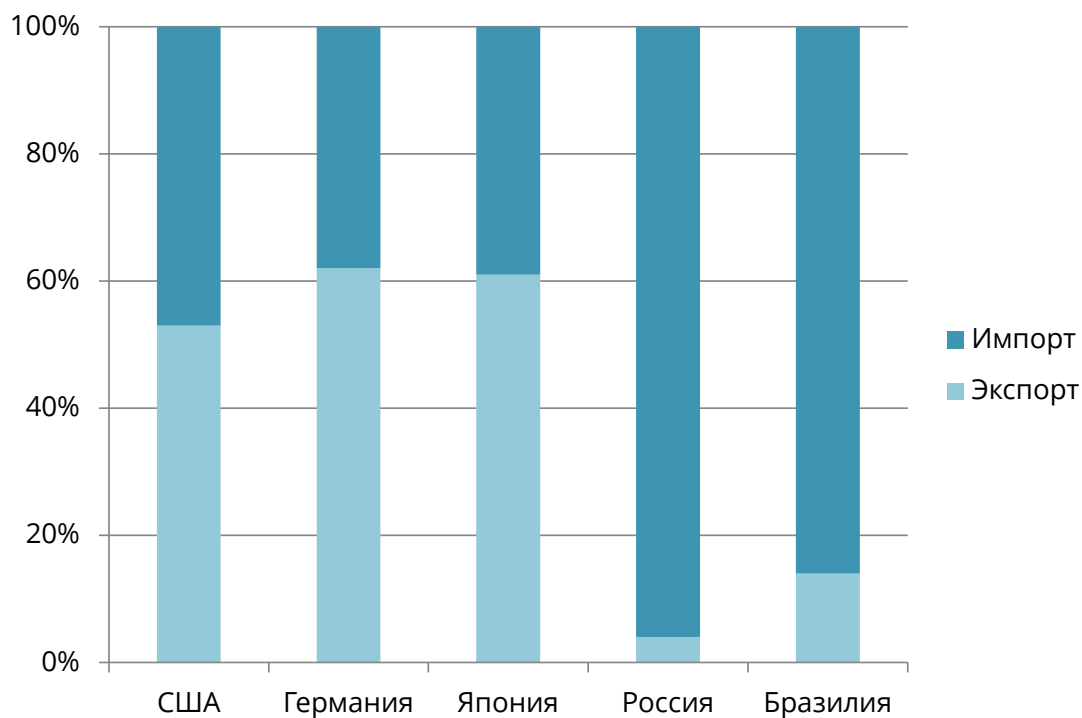
⁷Global Oncology Trend Report a Review of 2015 and Outlook to 2020 // IMS Institute for Healthcare Informatics <https://morningconsult.com/wp-content/uploads/2016/06/IMS-Institute-Global-Oncology-Report-05.31.16.pdf> (Просмотрено 14.11.2016)

Анализ участия России в международном товарообороте лекарственных средств показывает, что этот процесс носит выраженный односторонний характер: Россия в основном импортирует продукцию, и лишь незначительная часть известных и воспроизведенных препаратов экспортируется.

По данным Минпромторга России, российские производители обеспечивают только около 27% рынка. Фармацевтическая и медицинская промышленность во многом зависят от иностранных партнеров⁸.

Экономические санкции в отношении фармацевтической промышленности, индустрии и высокотехнологичного медицинского оборудования создают значительный вызов для национальных биомедицинских исследований.

Соотношение Импорт/Экспорт медицинского оборудования, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IMS Health

«Вызовы, которые специфичны для нашей страны, – это технологическое отставание. Я говорю о технологии научных исследований. На мой взгляд, это принципиально и гораздо более важно, чем вообще выделение какого-либо направления»

И.В. Лядова, ЦНИИТ

«У нас недопустимая импортозависимость. Завтра нам запретят поставку пластиковых пробирок, и у нас встанет вся диагностика, я уж про науку не говорю. Производство средств производства – наша ахиллесова пята. В любую лабораторию придите – она на 100% импортозависимая»

Е.Н. Имянитов, НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова

⁸Медицинская и фармпромышленность — путь к инновациям // Открытое правительство http://open.gov.ru/expert_sovet/5510121/ (Просмотрено 14.11.2016)

Евгений Наумович ИМЯНИТОВ

Заведующий научным отделом

биологии опухолевого роста

НИИ онкологии имени Н.Н. Петрова



Какие научные открытия полностью меняют медицину и жизнь человека?

Полное геномное секвенирование, которое только стало появляться, меняет жизнь людей. Это вклад в новые подходы к лечению, в новую диагностику.

Какие прорывы ожидаются в когнитивных исследованиях, биологии поведения?

Это не совсем медицинская проблема. Вдумайтесь, есть ли разумное объяснение тому, что Германия, колыбель социализма, гуманизма, одна из самых образованных стран своего времени, построила на своей территории концлагеря, начала геноцид и самую страшную войну? Это же абсурд. И наоборот, положительный пример: у нас в стране в 90-е годы было катастрофическое падение уровня жизни, но никакого социального взрыва не произошло.

Понять, почему люди так себя ведут, важнее, чем лечить больных. Развитие в этом направлении будет, скорее всего, в виде революции на стыке наук. Когда появилась молекулярная биология, очень многое стало понятно о сути биологических процессов. Так и молекулярные механизмы деятельности мозга: конечно, там сейчас прорыв.

Вы специалист в сфере онкологии. Где Вы видите наиболее вероятный прорыв в сфере лечения рака? Правда ли, что химиотерапия становится «прошлым веком»? Что еще уходит из актуальных методов лечения?

Ничего не ожидаю. Онкология – особая специальность, здесь вообще ни о чем не говорят в сослагательном наклонении. Если что-то кажется перспективным, это делается моментально.

С химиотерапией не совсем верно. Есть химиотерапия, есть так называемая таргетная терапия ингибиторами передачи сигналов, есть иммунотерапия. Это взаимодополняющие вещи. Но, увы, все равно огромному числу пациентов нечем помочь. Ни один метод не теряет актуальности.

В чем Вы видите наиболее важные для России направления? На сессии обсуждалось, что нам не надо догонять Запад. На что, с Вашей точки зрения, надо делать ставку?

Надо понимать, что в биомедицинской науке, в отличие от военной отрасли, нет критической массы, наработок, специалистов. У нас огромное отставание. После И.П. Павлова в биомедицинской науке ничего значимого не было.

Конкурсные отборы на получение финансирования научных проектов должны

подразумевать привлечение международного рецензирования – первые шаги в этом направлении уже делаются. Чтобы преодолеть отставание, мы должны не выбирать приоритетные направления, а научиться представлять свои работы мировой научной общественности – для начала, готовить заявки на гранты и писать научные статьи на английском языке. Сейчас, к счастью, многие медицинские специалисты стали с пониманием относиться к этим требованиям.

Чего еще нам не хватает с точки зрения науки, чтобы достичь соответствующих результатов?

Деньги – это самое важное. У нас были «тучные годы», когда Минобрнауки России вбрасывало в науку много денег, зачастую при весьма странных подходах к отбору проектов. Я имею в виду то, что на многих конкурсах экспертная оценка проектов выполнялась не рецензентами, а комиссией всего из нескольких человек. Но даже при таком, на мой взгляд, неправильном подходе результат все равно налицо. Кто-то работал хорошо, а после вливаний стал работать отлично. Появились новые коллективы. Конечно, без хорошей экспертной оценки нельзя раздавать финансирование: в «тучные годы» очень много финансовых ресурсов попали в заведомо не очень эффективные коллективы и никаких значимых результатов не дали.

Другой вопрос – технологии. Биомедицинские исследования угрожающе импортозависимы, необходимо создавать собственную аппаратную, реагентную базу. Тут нужны гранты, дотации, неплохо работает система государственно-частного партнерства.

На сессии Вами упоминались мультицентровые исследования. Какая форма организации исследований кажется Вам наиболее продуктивной?

Большинство исследователей конкурируют с такими же, как они, за получение источников финансирования: грантов, прямого финансирования от фирм или государства. Правда заключается в том, что сегодня наибольшую часть репутационных дивидендов получает только разработчик, лидер проекта. Все маловидимые участники получают значительно меньше «положительных баллов» к своему резюме. Получается, что если ученый выбирает раствориться в многоцентровом исследовании или делать что-то свое – многие выбирают свое. Здесь, наверное, нужно изменение шкалы мотивации.

Запрос общества на активное долголетие

Почему это важно?

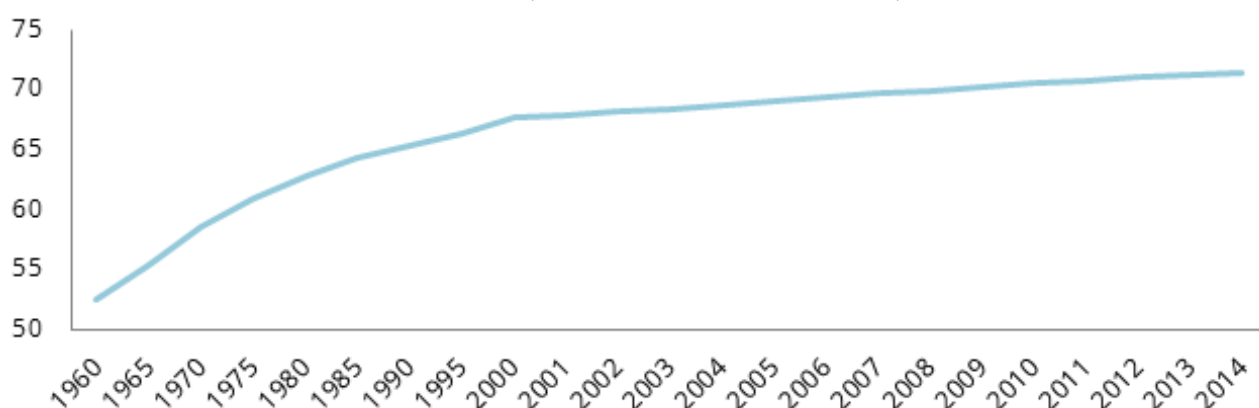
Улучшение здоровья населения во второй половине жизни является самым большим запросом со стороны общества.

С середины XX в. тенденция увеличения ожидаемой при рождении продолжительности жизни носит устойчивый характер. Так, по данным ООН, в среднем по миру за период с 1960 по 2014 гг. продолжительность жизни выросла почти на 20 лет: с 52,4 до 71,5 лет⁹. Особенно ярко эта тенденция проявила себя в развитых странах Европы, США, Японии и Китае.

«Целая группа вызовов связана со старением населения. Отсюда идет целый комплекс проблем в области неинфекционных заболеваний»

И.В. Лядова, ЦНИИТ

Динамика ожидаемой продолжительности жизни от рождения, лет



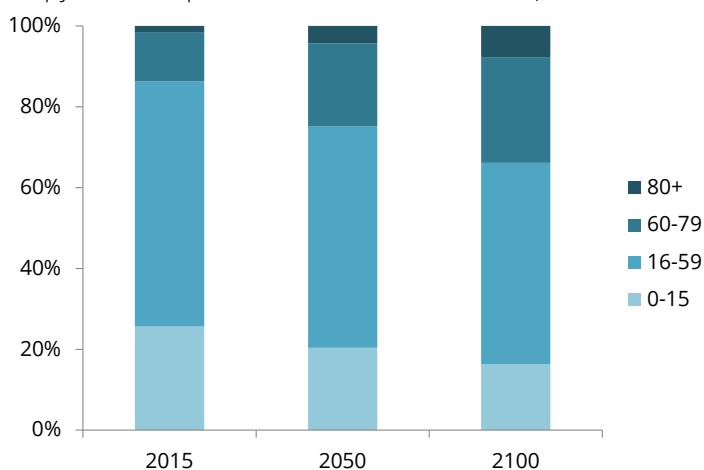
Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам ООН

Увеличение продолжительности жизни и снижение рождаемости ведет к необратимому процессу демографической трансформации, связанной с глобальным старением населения.

Согласно прогнозам ООН, доля лиц в возрасте 60 лет и старше удвоится в период между 2015 и 2050 г., в то время как реальное число увеличится более чем в три раза, достигнув 2 миллиардов человек в 2050 г.; в большинстве стран число людей старше 80, вероятно, увеличится в четыре раза, до 400 млн. чел¹⁰.

Данный процесс особенно заметен в Европе, Японии, США и России. В ближайшие десятилетия тенденция будет нарастать и в развивающихся странах.

Прогноз динамики распределения населения мира по группам возрастов 2015-2100, % от общего населения



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам ООН

⁹Щербакова Е. Мировой демографический барометр // Демоскоп Weekly. 2012. №531 – 532

¹⁰Там же

Рост населения Земли старше 60 лет, млрд чел.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам ООН

К чему это приведет?

Старение населения приведет к дополнительной нагрузке на общество ввиду необходимости обеспечения ухода за престарелыми людьми, что повлечет стабильный рост расходов на здравоохранение.

Существующая традиционная система медицины сложилась в условиях, когда главные усилия были направлены на защиту младших возрастных групп¹¹.

Поэтому увеличение доли пожилых и соответствующее сохранение физических и ментальных функций вкпе с работоспособностью в старшем возрасте является одним из ключевых вызовов для медицинской науки. Ответ на него потребует перехода к новым технологиям и принципам организации медицинской помощи.

«Я бы сформулировал вызов для медицины как активное долголетие, отсюда уже цепочка и фундаментальных задач, и прикладных, например, та же самая предиктивная медицина и сверхранняя диагностика, тема микробиома и функциональное лечебное питание»

Ю.В. Кистенев, НИ ТГУ

«Мы должны начать от эмбриона, продолжить через весь жизненный цикл, здоровьем ребенка, матери и отца и борьбой со всеми их болезнями, и закончить смертью. Вот эту цепочку мы должны выстроить. И когда мы будем ее продумывать и хорошо представлять, отсюда вытекут все задачи, которые мы должны решать»

Ю.Н. Кульчин, ИАПУ ДВО РАН

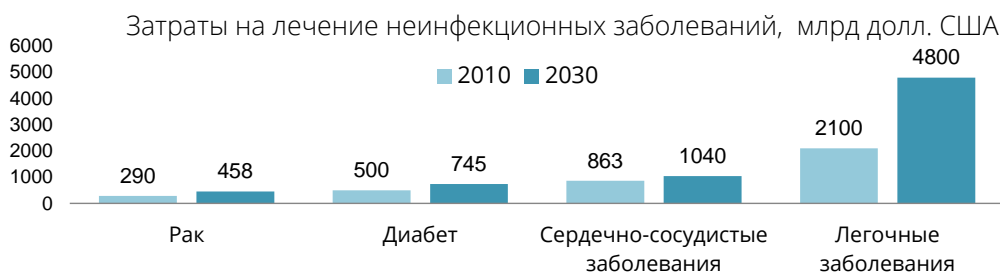
¹¹Вишневский А.Г. Глобальные демографические вызовы здравоохранению // Демоскоп Weekly. 2015. №653 – 654

Необходимость повышения эффективности методов диагностики заболеваний

Почему это важно?

Неинфекционные заболевания – дорогие болезни: ежегодно из-за рака страны мира тратят и теряют 895 млрд долл., из-за нейродегенеративных заболеваний – 818 млрд долл., а сердечно-сосудистых – 753 млрд долл.¹² Эти средства уходят на медицинскую помощь и социальные выплаты; в них также включают потери от снижения ожидаемой производительности труда. В Европе в 2014 г. потери от рака только в связи со снижением средней производительности труда вследствие болезни граждан составили 84 млрд долл. (в общих расходах

это 9–15%). В 2010 г. в США потратили 124,5 млрд долл. на рак, а в 2020 будут тратить уже 157,7 млрд долл.¹³. Еще больше стоит болезнь Альцгеймера¹⁴. Расходы на лечение НИЗ возрастают с каждой стадией заболевания: траты на лечение рака первых двух стадий в 2,5 раза меньше, чем расходы на лечение последних двух стадий. Выживаемость также зависит от стадии, на которой началось лечение, поэтому диагностировать их нужно как можно раньше.

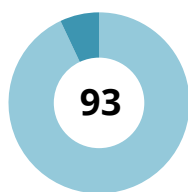


Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Medical Futurist

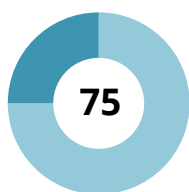
«У нас нет нормальной и эффективной диагностики, ориентированной не на ВИП-пациентов, а на среднестатистического гражданина, кроме того, диагностика у нас большей частью инвазивная. Нам следует развивать методы и технику для массовой диагностики болезней и методы неинвазивной диагностики, что, безусловно, потребует широкого развития и использования нанобиотехнологий»

Ю.Н. Кульчин, ИАПУ ДВО РАН

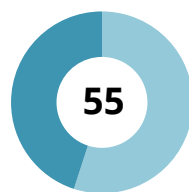
Выживаемость после лечения онкологических заболеваний, % (в среднем в мире через 5 лет)



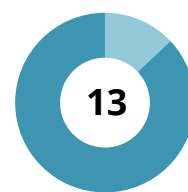
1 СТАДИЯ РАКА



2 СТАДИЯ РАКА



3 СТАДИЯ РАКА



4 СТАДИЯ РАКА

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Кузнецова Е. (2016)

Какие шаги предпринимаются?

Развитые страны более успешно борются с раком, поскольку внедряют раннюю диагностику и лечение, которые повышают показатели выживаемости. В России только 51% онкобольных узнают о диагнозе на первых двух стадиях, у четверти рак диагностируется на последней стадии¹⁵. Плохо диагностируются нейродегенеративные заболевания. Врачам сложно распознать болезнь Альцгеймера даже на стадии умеренных

когнитивных нарушений. Обычно ее выявляют уже на клинической стадии деменции, хотя изменения в мозгу, фиксируемые приборами, начинаются за 20–30 лет до появления симптомов болезни. Исследования показали, что лечение нужно начинать на 3–8 лет раньше, чем это делается в действительности, а с каждым годом промедления эффективность терапии падает на 17%¹⁶.

«Поиск универсальных инструментов, которые сочетают в себе диагностику, максимально неинвазивное лечение – это глобальный вызов. Вызов – найти тот инструмент, который позволит максимально быстро продиагностировать заболевание, без последствий, и тут же оказать помощь»

В.Ю. Тимошенко, НИЯУ МИФИ

¹²How Much Cancer Costs // Drugwatch.com <https://www.drugwatch.com/2015/10/07/cost-of-cancer/> (Просмотрено 14.11.2016)

¹³Cancer drugs: remedy required // Nature Medicine 17, 231 (2011) doi:10.1038/nm0311-231

¹⁴World Alzheimer Report 2011 // Alzheimer's Disease International <https://www.alz.co.uk/research/WorldAlzheimerReport2011.pdf> (Просмотрено 02.11.2016)

¹⁵Статистика рака в России // Онкофорум <http://www.oncoforum.ru/o-rake/statistika-raka/statistika-raka-v-rossii.html> (Просмотрено 14.11.2016)

¹⁶World Alzheimer Report 2011 // Alzheimer's Disease International <https://www.alz.co.uk/research/WorldAlzheimerReport2011.pdf> (Просмотрено 02.11.2016)

Долгий срок и высокая стоимость выведения на рынок новых лекарств

Почему это важно?

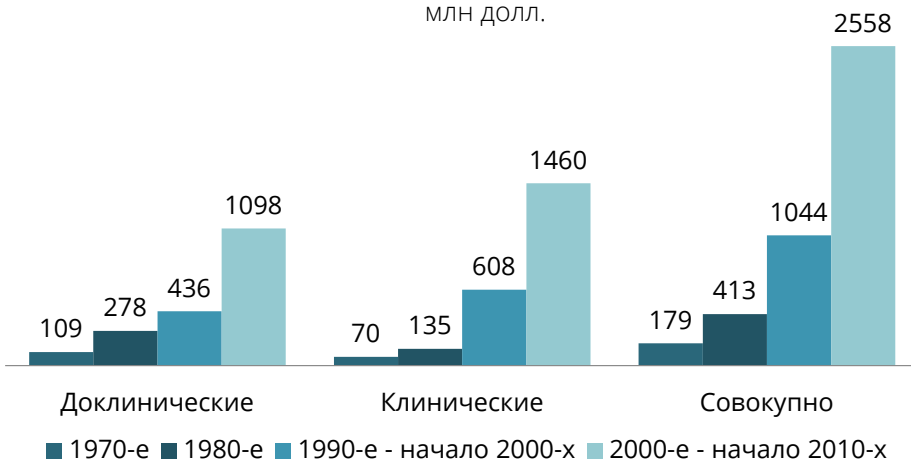
Новые терапевтические средства разрабатываются крайне медленно – от фундаментального открытия до выведения препарата на рынок проходит 12–17 лет. При этом 90% лекарственных кандидатов не доходят до последней стадии клинических испытаний, а в 25% обнаруживаются побочные

эффекты на поздних этапах испытаний, когда в проект уже вложены сотни миллионов. За последнее десятилетие среднемировое значение расходов на НИОКР по созданию одного препарата увеличились вдвое, составив 2,5 млрд долл¹⁷.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам PhRMA Annual Membership Survey (2014)

Стоимость НИОКР компаний на разных стадиях исследования, млн долл.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам TUFTS University (2014)

«Ни одно созданное в России лекарство практически невозможно вывести на рынок. Например, мы в Дальневосточном отделении РАН уже более 20 лет пытаемся вывести на рынок четыре лекарства. А среди них такие высокоэффективные лекарства, как Гистохром, Максар, Коллагеназа, Куарантин, которые не только прекрасно зарекомендовали себя в опытной эксплуатации, но были использованы в качестве лекарственных средств в «горячих точках»

Ю.Н. Кульчин, ИАПУ ДВО РАН

Какие шаги предпринимаются?

С целью снижения затрат и сокращения сроков разработки ведущие мировые фармацевтические компании плотно взаимодействуют с университетами и частными исследовательскими лабораториями, которые разрабатывают для них новые биомаркеры и сопровождают процесс тестирования на людях. При этом пациент в клиниках постоянно находится под наблюдением, в исследовательскую лабораторию передаются данные о его организме: расшифровка генома, данные анализов, данные с пользовательских медицинских устройств. Ученые анализируют полученные данные и экономят время и деньги

для фармацевтических компаний до 130 млн долл. в расчете на одно кандидатное лекарственное соединение¹⁸. Этот подход называется трансляционным.

С целью реализации более эффективного переноса результатов фундаментальных исследований в создание лекарств мировые биомедицинские центры разрабатывают единые стандарты диагностики и объединяются для создания крупной информационной системы, куда заносят эпидемиологические данные, данные клинических испытаний и генетических тестирований.

¹⁷PhRMA Annual Membership Survey http://phrma-docs.phrma.org/sites/default/files/pdf/2015-phrma_profile_membership_results.pdf (Просмотрено 02.11.2016)

¹⁸A Revolution in R&D How genomics and genetics are transforming the biopharmaceutical industry // The Boston Consulting Group <http://www.bcg.com/documents/file13745.pdf> (Просмотрено 02.11.2016)

Константин Никитич ЯРЫГИН

Член-корреспондент РАН

Заведующий лабораторией клеточной биологии

НИИ биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича



Какие научные открытия недавно произошли в биомедицине?

В регенеративной медицине, которой я занимаюсь, массово разворачиваются клинические исследования, что стало возможным в результате достижений фундаментальной науки, которых за последние годы было очень много. Что касается главных достижений в области биомедицины вообще, то на мой взгляд, это прежде всего разработка таких методов высокопроизводительного анализа, как транскриптомика, протеомика, метаболомика и другие «омики», а также высокопроизводительное секвенирование, которое позволяет значительно быстрее анализировать последовательность нуклеотидов в геноме. Во-вторых, это создание методов дедифференцировки и трансдифференцировки клеток и индукции плюрипотентности. В-третьих, разработка технологий тканевой и органной инженерии. В-четвертых, создание методов редактирования генома. Наконец, в-пятых, широкое внедрение биоинформационных методов.

Какие нестандартные научные теории и концепции имеются в этой области?

Одна из самых интересных – это совмещение компьютера с живым организмом, создание интерфейсов, например, между мозгом и протезом или внешним скелетом, что позволит парализованному человеку передвигаться. Таким образом можно не только решать сугубо клинические задачи, но и улучшить физические возможности человека, а потенциально – и интеллектуальные.

Какие научные направления и подходы постепенно изживают себя?

Мне кажется, постепенно будет меняться фармакология. Сейчас большинство лекарств, кроме антибиотиков, лишь облегчают симптомы, тогда как рациональнее таргетировать причину заболевания. В будущем будут создаваться лекарства, которые, стимулируя регенерацию, помогают организму самому справляться с проблемами.

Какие Вы видите прорывные направления и сценарии развития биомедицины на ближайшие годы?

Большие возможности открывает тканевая инженерия: созданы методами тканевой инженерии работающие сердце, почка, печень и т.д. Уже есть живущие с такими органами лабораторные животные, а создание национальных и международных банков гомозиготных линий индуцированных плюрипотентных клеток позволит получать *in vitro* и человеческие органы, пригодные для пересадки и иммунологически совместимые с практически любым пациентом, нуждающимся в трансплантации. Используя донорский материал, полученный из таких банков, можно будет производить органы в промышленных масштабах, что обеспечит приемлемый уровень затрат. Практическое использование этих технологий начнется где-то сразу после 2025 года.

С какими проблемами столкнутся научный мир и общество? К каким последствиям это приведет?

Улучшение здоровья во второй половине жизни и увеличение продолжительности жизни будут иметь разнообразные последствия. С одной стороны, это хорошо для индивидуума и общества: опытные люди смогут работать значительно дольше. С другой стороны, замедлится смена поколений, а если человек вынужден до 100 лет ждать повышения, это не очень хорошо.

Какое место в этих процессах занимает Россия, какие у нее перспективы?

К сожалению, наша страна занимает значительно более низкое место, чем могла бы. Но молодежь, в отличие от 1990-х гг., идет в науку и в медицину. Кроме того, есть подвижки в виде требований финансирующих организаций, таких как РФФ и РФФИ, заставляющих грантодержателей публиковаться в рецензируемых журналах. Поэтому качество исследований улучшается, потому что свою публикацию в рецензируемом журнале приходится отстаивать в дискуссии с рецензентами.

Международное сотрудничество требует денег. РФФ и РФФИ в этом плане в последнее время делают довольно много. Например, у нас успешно развиваются отношения с Тайванем. Мы начали сотрудничать полтора года назад, но уже есть две публикации, дважды оттуда приезжали ученые, и все это стало возможным благодаря двухстороннему гранту РФФИ.

Мегатренды в биомедицинской науке

Мегатренды – формирующиеся в течение десятилетий крупные изменения в науке

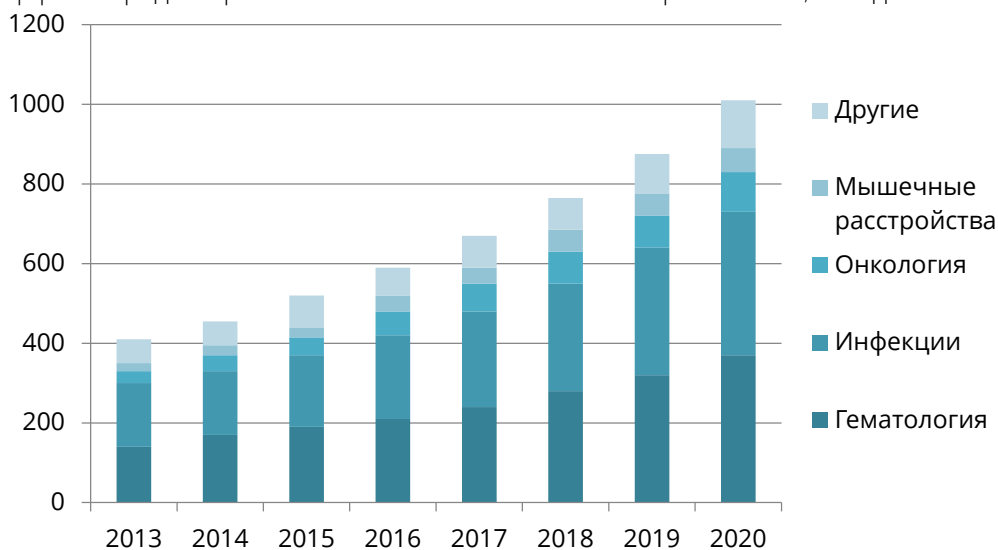
Масштабирование технологий модификации генома

Технологии секвенирования генома уже выходят на рынок не только в сельском хозяйстве, но и в медицине. Компаний, предлагающих такие услуги, довольно много: Oncompass, Foundation Medicine, Applied Stemcell, Genscript (США), Cellectis S.A. (Франция), Horizon Discovery Group (Великобритания), Merck KGaA (Германия) и т.д.¹⁹. Следующим шагом станет возможность изменения генома. Особенно большие перспективы здесь открываются в связи с развитием технологии CRISPR/Cas9, позволяющей с высокой точностью редактировать или заменять гены, ответственные за проявление наследственных генетических заболеваний. Однако остается множество вопросов в отношении этики, и, скорее всего, этот момент станет определенным ограничением для применения технологий вмешательства в человеческий геном на практике*.

В то же время, в феврале 2016 г. в Великобритании, впервые в Европе, было получено разрешение модифицировать геном человеческого эмбриона с помощью технологии CRISPR/Cas9.

Таким образом, в последние несколько десятилетий технологии для определения, изоляции, секвенирования, воспроизведения и интеграции требуемых генов в целевых организмах значительно трансформировались и стали одной из самых впечатляющих сфер применения научных исследований.

Размер рынка редактирования генома США по области применения, млн долл. США



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Global Market Insights

«Возможность вносить изменения в геном при помощи вирусов появилась еще в середине 1990-х, тогда же были выполнены и первые клинические испытания. В случае лентивирусных векторов эти изменения вносятся не очень точно, и существует высокий риск онкогенеза. Приблизительно 4–5 лет назад были открыты системы CRISPR/Cas9. В 2014–2015 гг. появились технологии редактирования человеческого генома при помощи CRISPR/Cas9, которые доставляются при помощи вирусных векторов. Это дает возможность разрабатывать терапевтические средства, которые будут вводиться, предположим, внутривенно и встраивать в человеческий геном гены, которых не хватает у больных. В первую очередь это относится к больным с конкретными заболеваниями, такими как иммунодефицит, гемофилия и т.д. Эта область активно развивается, и появились возможности излечения многих наследственных заболеваний»

А.Н. Лукашев, ИПВЭ им. М.П. Чумакова

*Мы не останавливаемся подробно на морально-этических вопросах, так как это предмет для отдельного исследования. Тем не менее, считаем их неотъемлемой частью оценки направлений биомедицинских исследований.

¹⁹Genome Editing Global Market - Forecast to 2022 // PR Newswire Association LLC <http://www.prnewswire.com/news-releases/genome-editing-global-market---forecast-to-2022-300391469.html> (Просмотрено 11.10.2016)

Исследование когнитивных функций человека*

Прогнозируется, что XXI век станет веком исследования возможностей мозга.

В этой сфере реализуется целый ряд проектов.

Одна из основных существующих сегодня инициатив в этой области – Флагманский проект ЕС «Человеческий мозг» (Human Brain Project (HBP)). Инициатива запущена в 2013 году. В проект вовлечено порядка 100 исследователей, стоимость проекта достигает 1,1 млрд евро. В рамках проекта задействована исследовательская инфраструктура и вычислительные технологии мирового уровня. Целью инициативы является заполнение «белых пятен» в моделировании структур и функций мозга²⁰. Аналогичная американская инициатива со сроком в 12 лет U.S. BRAIN (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) фокусируется на развитии новых технологий для фиксации активности нейронных цепочек и картировании мозга с беспрецедентной точностью.

У Японии также есть свой проект в этой сфере: «Картирование мозга на основе интегрированных нейротехнологий для исследования заболеваний» (Brain Mapping by Integrated Neurotechnologies for Disease Studies (Brain/MINDS) Project). В течение 10 лет японские исследователи будут использовать мышей и обезьян для понимания клеточной основы поведения и для моделирования болезней мозга человека²¹.

Масштабный проект реализуется Стэнфордским университетом, где ведется работа над печатной платой, способной имитировать поведение человеческого мозга²².

Исследование когнитивных функций проходит по нескольким направлениям:

- разработка различных систем регистрации активности мозга (включая интерфейсы «мозг-компьютер»);
- поиск возможностей управлять отдельными функциями мозга;
- восстановление тканей мозга, лечение распространенных нейродегенеративных заболеваний.

Открытия нейропластичности и нейрогенеза во взрослом возрасте открывают огромные возможности не только для исследований, но и для практических применений знаний о мозге.

Шесть платформ проекта «Человеческий мозг» VIII Рамочной программы ЕС

- **Нейроинформатика** – объединяет данные и знания нейроисследователей по всему миру, делая их доступными научному сообществу;
- **Симуляция мозга** – интегрирует информацию в компьютерные модели и позволяет определять недостающие данные;
- **Высокопроизводительные вычисления** – обеспечивают интерактивную суперкомпьютерную технологию для моделирования и симуляции с использованием больших объемов данных;
- **Медицинская информатика** – объединяет клинические данные со всего мира;
- **Нейроморфные вычисления** – позволяют переводить модели мозга в искусственные системы;
- **Нейророботика** – связывает искусственные модели мозга с робототехникой.

*Исследователи Института мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН высказали мнение о том, что целесообразно выделить часть, относящуюся к наукам о мозге, в отдельную программу исследований. Основным фокусом исследования мозга при этом должно быть изучение базисных механизмов его работы.

²⁰Overview // Human Brain Project <https://www.humanbrainproject.eu/2016-overview> (Просмотрено 23.10.2016)

²¹Understanding the human brain. A new era of big neuroscience // European Parliamentary Research Service http://www.europarl.europa.eu/stoa/webdav/site/cms/shared/2_events/workshops/2016/20161129/Booklet.pdf (Просмотрено 23.10.2016)

²²Lewis T. Human Brain Microchip Is 9,000 Times Faster Than a PC // LiveScience <http://www.livescience.com/45304-human-brain-microchip-9000-times-faster-than-pc.html> (Просмотрено 19.10.2016)

Биочипы для анализа биологической информации

Биочипирование применяется во множестве областей биомедицинской науки. Посредством биочипов изучается экспрессия генов, состав белков, метаболизм клеток. Биочипы используются для скрининга и мониторинга пациентов в рамках клинических испытаний. Небольшие перевариваемые сенсоры можно помещать в пероральные капсулы, которые затем будут передавать данные, например, о температуре, работе сердца и легких, состоянии желудочно-кишечного тракта. Результатом расширения применения биочипов на практике могут стать увеличение продолжительности жизни пациентов с хроническими заболеваниями и снижение затрат на врачебный контроль.

Другое направление разработки и использования биосенсоров – исследование медицинской продукции на токсичность²³. В лабораториях будущего с помощью биосенсоров ученые смогут предсказывать действие того или иного медицинского препарата – для этого достаточно будет прямо на биосенсоре проследить, как лекарство или вакцина взаимодействует с живой тканью²⁴.

Лидерами на рынке биочипирования сегодня являются Cepheid Inc., Sigma Aldrich Corp., EMD Millipore, Caliper Life Sciences Inc. и Agilent Technologies²⁵. Affymetrix Inc. стала первым производителем, представившим коммерческие биочипы.

«Технология биологических микрочипов не только создана, как таковая, она была внедрена. Биочипы для определения лекарственной устойчивости бактерий туберкулеза внедрены и работают во фтизиатрических учреждениях»

А.С. Заседателев, ИМБ РАН

Персонализированная медицина

Персонализированная медицина учитывает всю совокупность индивидуальных особенностей больного, прежде всего его генотип. Подбирая индивидуальные схемы лечения, врач способен улучшить результаты лечения, обеспечить его безопасность и рентабельность²⁶. Комиссия по технологиям и науке ООН прогнозирует, что к 2020 году персонализированная медицина станет значимым компонентом медицинской помощи, основываясь на больших базах данных информации о пациентах и симптомах, а также на возможности быстро делать генетическое секвенирование²⁷.

Полная реализация концепции персонализированной медицины включает:

- оценку рисков: генетическое тестирование для определения предрасположенности к заболеваниям;

«В зависимости от цены, широкое распространение получат через 10 лет, а появятся уже через 5, системы персонализированной медицины на основе «больших данных» и высокопроизводительного секвенирования»

А.Н. Лукашев, ИПВЭ им. М.П. Чумакова

«Персонализированная медицина – то, что в будущем будет доступно населению и будет основано на метаболитах, на геноме каждого человека в зависимости от того, где он живет»

А.А. Устюгов, ИФАВ РАН

²³Ding L. et al. Trends in Cell-Based Electrochemical Biosensors // Current Medicinal Chemistry 15(30):3160-70 February 2008 <https://www.researchgate.net/publication/23656535> (Просмотрено 27.11.2016)

²⁴Hossain M. et al. Future Directions of Biosensors // Journal of Nanomedicine Research 3(1): DOI: 10.15406

²⁵Biochips Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2014 - 2020 // Future Market Insights <http://www.futuremarketinsights.com/reports/biochips-market> (Просмотрено 14.01.2017)

²⁶Ясный И. Фармакология и медицинские биотехнологии в 2015 // Fast Salt Times <http://fastsalts.com/sections/obzor/497.html> (Просмотрено 14.10.2016)

²⁷Strategic foresight for the post-2015 development agenda // ООН http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ecn162015d3_en.pdf (Просмотрено 09.10.2016)

²⁸What Is Personalized Medicine? // Personalized Medicine Coalition http://www.personalizedmedicinecoalition.org/Userfiles/PMC-Corporate/file/pmc_age_of_pmc_factsheet.pdf (Просмотрено 14.10.2016)

Сергей Анатольевич ЛУКЬЯНОВ

Действительный член РАН

Ректор

Российского национального исследовательского
медицинского университета им. Н.И. Пирогова



Какие научные открытия недавно произошли в биомедицине?

Революционным событием было появление лет 15 назад новых лекарственных средств на основе созданных методами генной инженерии биологических молекул белковой природы: антител, различных факторов, рецепторов. Первым таким лекарством были антитела к фактору некроза опухоли-альфа (от tumor necrosis factor alpha, TNF-alpha) – противовоспалительной молекуле, которая задействована в развитии воспалительной реакции при множестве заболеваний: ревматоидном артрите, рассеянном склерозе, сахарном диабете и т.д. Эти болезни длятся десятилетиями и ведут к тяжелой инвалидизации человека, а эффективных специфических препаратов для их лечения до недавнего времени не было разработано. Появление антител против TNF-alpha изменило жизнь миллионов людей на планете. Антитела не вылечивают болезнь, но прерывают воспалительный процесс, снимают болевые и воспалительные синдромы и дают возможность людям вести активную социальную жизнь. Это направление серьезно стимулировало биомедицинские разработки и сыграло важную психологическую роль.

Если брать более недавний горизонт событий, то за последние 5 лет наметился прорыв в области онкоиммунологии. К ученым пришло понимание, что опухоль в ходе развития адаптируется таким образом, что иммунная система перестает воспринимать ее как враждебное организму образование. И появились препараты, которые не атакуют напрямую опухолевые клетки, а изменяют баланс активности регуляторных клеток и эффекторных клеток иммунной системы, которые и должны бороться с опухолью. В ряде случаев, например, для меланомы это дало фантастические результаты. Обреченные люди выздоравливали, и их иммунная система перестраивалась так, что не происходило рецидивов воспалений.

К сожалению, мы и сегодня не до конца понимаем все механизмы, которые лежат за развитием опухолей и их взаимодействием с организмом. Это вызов для исследователей, потому что онкология сейчас уверенно выходит на первое место по смертности по мере наших успехов в области сердечно-сосудистых заболеваний.

Можно также упомянуть серьезные успехи в области регенеративной медицины, где мы надеемся получить прорывные результаты в течение 10–20 лет. Отдельного упоминания заслуживают медицинские технологии на основе интерфейсов «мозг-компьютер». Эти технологии основаны на том, что сигналы от коры головного мозга считываются с помощью электроэнцефалографии и реализуются в движениях роботизированных устройств напрямую, минуя мышцы, движения рук, глаз и т.д. Люди, которые имеют проблемы с движениями в результате инсульта или травмы, получают возможность реабилитироваться путем тренировки, поддерживающей воображаемые движения. Это очень интересное направление, поскольку при таких травмах повреждается не рука или нога, а именно система управления, и мозгу нужна поддержка, чтобы заново научиться управлять движениями.

Есть еще более сложные технологии, связанные с внедрением в мозг электродных матриц, которые позволяют полностью парализованным людям управлять роботизированными устройствами через мысленные усилия. Это можно отнести к прорывам – раньше представить себе такое было невозможно.

Интереснейшее направление – редактирование генома. С открытием системы CRISPR/Cas9 процедура внесения изменений в геном живых организмов стала значительно проще. Проблема в том, что такие системы могут работать только с эмбриональными клетками. Если удастся создать технологии редактирования генома на уровне взрослого организма, то станет возможным излечение огромного количества заболеваний.

Конвергенция в биомедицине

В мире разворачивается новая научная революция. Можно выделить идущую с 80-х годов XX столетия революцию в области информационных и коммуникационных технологий, последовавшую за ней биотехнологическую революцию и сегодняшнюю революцию в области нанотехнологий. Во многих областях наблюдается переход от линейного к экспоненциальному росту знаний и технологий, а новые методы работы с большими массивами информации позволяют значительно ускорить процессы продуцирования открытий и инноваций и могут привести к появлению новых областей исследований, ставить и решать масштабные задачи, с которыми ранее не удавалось справиться. При этом особенно высокими темпами растет число открытий и изобретений на стыках наук.

Информационные технологии постепенно становятся неотъемлемой частью биомедицинской науки и рассматриваются как возможный ответ на возникающие вызовы.

Использование систем искусственного интеллекта для поддержки принятия решений для врачей уменьшает количество ошибок и повышает качество медицинской помощи.

Лечение рака – сфера, где использование систем искусственного интеллекта наиболее распространено. Виды рака разнообразны, с сотнями различных комбинаций.

Компания Microsoft объявила о четырех новых инициативах, направленных на использование искусственного интеллекта в области здравоохранения: исследователи работают над тем, чтобы решить проблему рака посредством методов машинного обучения для таких задач, как анализ опухолей и разработка новых режимов приема лекарств²⁹.

IBM работает над собственным проектом, используя 600 тысяч медицинских записей и 1,5 миллиона записей о пациентах для изучения лучших методов лечения рака³⁰.

«Я бы отметил тренд на конвергенцию наук. Это довольно непростая задача, потому что нужно уметь договариваться людям, которые изначально не имеют общего языка»

Ю.В. Кистенев, НИ ТГУ

«Эффективное совмещение бионанотехнологий и ядерной медицины и решение связанных с этим комплексных проблем. Не только в сфере биоинфо, но и в сфере бионано могут появляться точки, которые могут дать совершенно неожиданный результат»

И.Н. Завестовская, НИЯУ МИФИ

²⁹Linn A. How Microsoft computer scientists and researchers are working to 'solve' cancer // Microsoft <https://news.microsoft.com/stories/computingcancer/> (Просмотрено 31.10.2016)

³⁰IBM's Watson transforming patient care // Analytics Magazine <http://analytics-magazine.org/ibms-watson-transforming-patient-care/> (Просмотрено 20.10.2016)

³¹Condliffe J. DeepMind Will Use AI to Streamline Targeted Cancer Treatment // MIT Technology Review <https://www.technologyreview.com/s/602277/deepmind-will-use-ai-to-streamline-targeted-cancer-treatment/> (Просмотрено 30.10.2016)

³²A strategy for "convergence" research to transform biomedicine // MIT News <http://news.mit.edu/2016/strategy-convergence-research-transform-biomedicine-0623> (Просмотрено 30.10.2016)

Аналитика больших данных

Одно из перспективных направлений биомедицинских исследований – использование все более доступных массивов больших данных. Новый подход к здоровью и болезням, основанный на причинно-следственных связях, включающий гены, окружающую среду и образ жизни, активно способствует формированию «больших данных». По некоторым оценкам, клинические данные одного человека будут генерировать 0,4 терабайта информации в течение жизни. К 2020 году объем данных в сфере здравоохранения будет удваиваться каждые 73 дня³³.

Большие объемы информации генерируются сейчас в системе здравоохранения из многих источников: медицинских лабораторий, терапевтов, медицинских страховых фондов и т.д. Сюда включается достаточно широкий спектр данных: электронные медицинские карты (такие карты не только содержат все данные осмотров и результаты тестов, но и могут напоминать о том, что пациенту нужен повторный осмотр или тест); данные клинических испытаний в фармацевтической индустрии; данные о поведении и настроении пациентов; данные медицинских устройств, в том числе домашнего пользования³⁴.

Аналитика больших данных, формирующая представление о наиболее эффективных лекарствах, процедурах и способах лечения, позволит исследовать информацию обо всем населении так, чтобы медики могли принимать наилучшие решения в отношении своих пациентов. Большие данные дают информацию о безопасности существующих лекарств, а также о новых способах использования этих лекарств. Они также дают возможность проведения некоторых видов клинических испытаний *in silico*, что позволит уменьшить количество животных и людей, на которых тестируются фармацевтические продукты³⁵. Развитие технологии поможет предсказательной медицине в выявлении факторов риска и ранних признаков социально значимых заболеваний, а также сопутствующих патологий.

«Главное сосредоточение технологий – это система анализа информации. И эта система анализа информации будет тем более точной, чем больше в ней информации. Тот, кто первым влезет на эту гору, у того результат будет более точный и стоит дешевле. Если такой результат будет, и такая работа будет вестись только за рубежом, то можно потерять суверенитет, и потом в этот поезд «вскочить» будет очень сложно. Это системная проблема, в которой надо работать на опережение.

<...> Тренд – «большие данные». Это технология для бедных, потому что она позволяет быстро получить технологический прогресс и связанную с ней персонализированную медицину. Можно невысокой ценой получить прогресс, и прогресс практически гарантированный»

А.Н. Лукашев, ИПВЭ им. М.П. Чумакова

³³The power of big data must be harnessed for medical progress // Nature 539, 467–468 (24 November 2016) doi:10.1038/539467b

³⁴McDonald C. How Big Data Is Reducing Costs and Improving Outcomes in Health Care // MapR Technologies, Inc <https://mapr.com/blog/reduce-costs-and-improve-health-care-with-big-data/> (Просмотрено 17.03.2017)

³⁵The power of big data must be harnessed for medical progress // Nature 539, 467–468 (24 November 2016) doi:10.1038/539467b

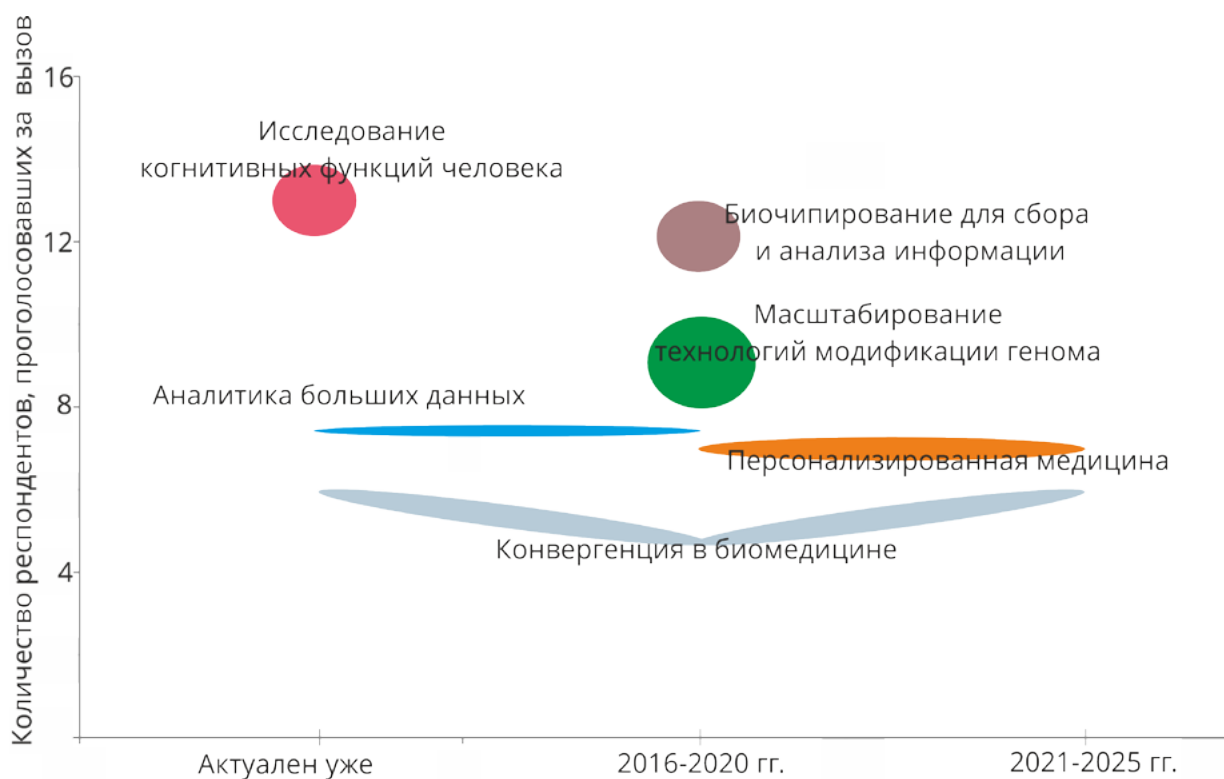
³⁶Big Data to Knowledge (BD2K) // NIH <https://datascience.nih.gov/bd2k> (Просмотрено 20.10.2016)

³⁷Study on Big Data in Public Health, Telemedicine and Healthcare // The European Commission http://c.ymcdn.com/sites/echalliance.com/resource/resmgr/docs/Study_on_Big_Data.pdf (Просмотрено 17.03.2017)

³⁸The NHS in 2030: a vision of a people-powered, knowledge-powered health system // Nesta <https://www.nesta.org.uk/sites/default/files/the-nhs-in-2030.pdf> (Просмотрено 30.10.2016)

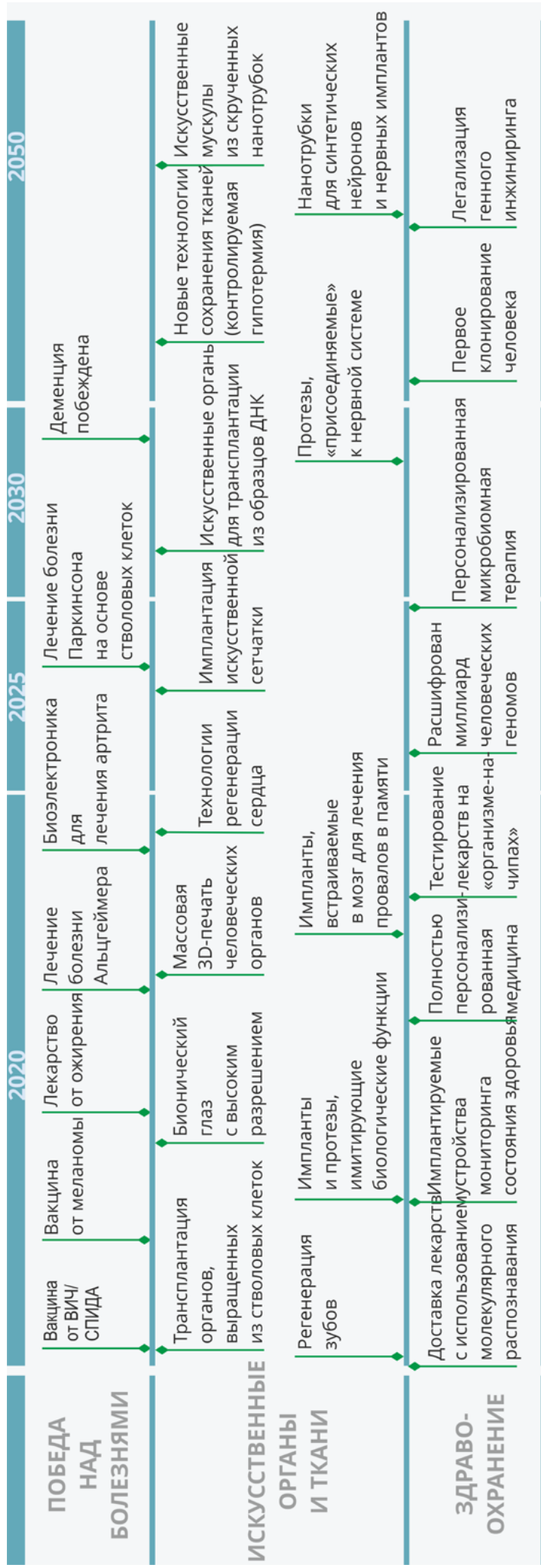
³⁹Dimitrov D.V. Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare // Healthcare Informatics Research. 2016;22(3):156-163. doi:10.4258/hir.2016.22.3.156.

Период, когда сформировавшиеся мегатренды будут наиболее актуальны



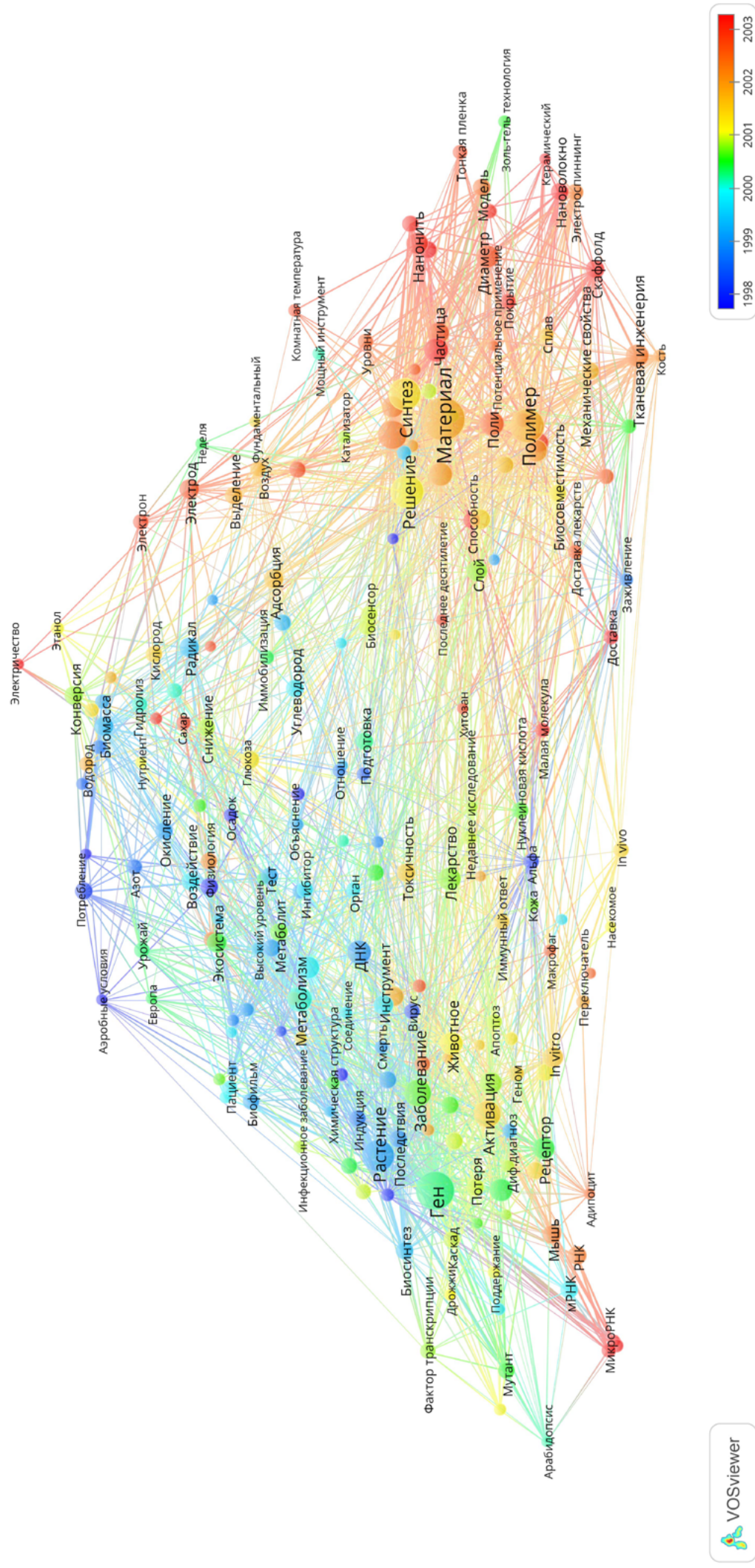
Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам анкетирования

Таймлайн развития биомедицины



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Futuretimeline.net, Deloitte, Imperial Tech Foresight, ODASA (R&T), OOH

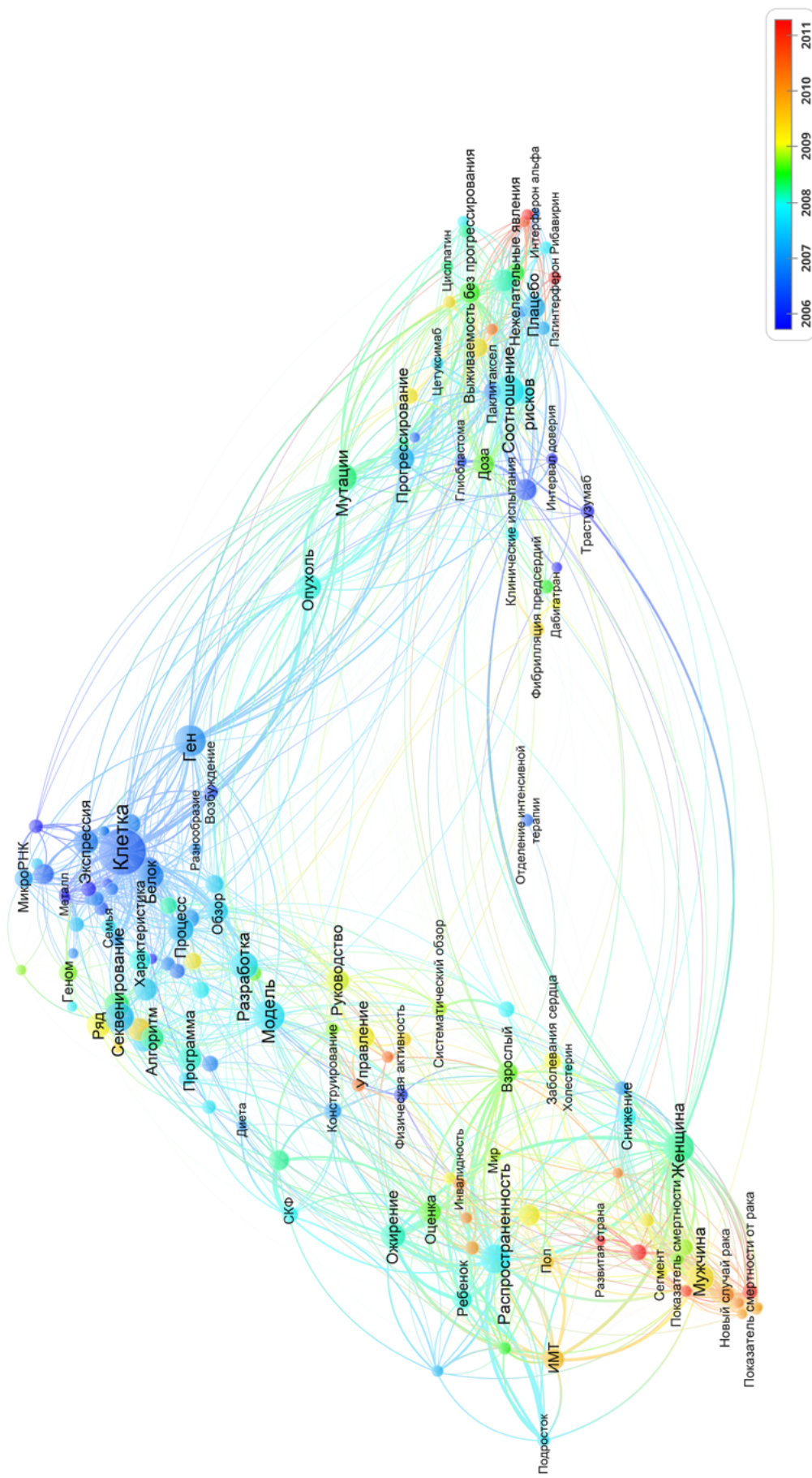
Семантический анализ высокоцитируемых статей
(10% самых цитируемых статей от общего количества, при генеральной совокупности >5000, иначе – первые 500 статей),
опубликованных в период 1990–2004 гг.*
Размер точки зависит от частоты употребления слова



*Поскольку для анализа были выбраны статьи с наибольшим цитированием, на легенде не указаны годы, в которых не публиковались статьи с цитируемостью, позволяющей им попасть в список 500 самых цитируемых статей

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным Web of Science, визуализировано при помощи VOS Viewer

Семантический анализ высокоцитируемых статей (10% самых цитируемых статей от общего количества, при генеральной совокупности >5000, иначе – первые 500 статей), опубликованных в период 2005–2016 гг.*
 Размер точки зависит от частоты употребления слова



*Поскольку для анализа были выбраны статьи с наибольшим цитированием, на легенде не указаны годы, в которых не публиковались статьи с цитируемостью, позволяющей им попасть в список 500 самых цитируемых статей

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным Web of Science, визуализировано при помощи VOS Viewer

Александр Николаевич ЛУКАШЕВ



**Заведующий лабораторией молекулярной биологии
вирусов
Федеральный научный центр исследований и
разработки иммунобиологических препаратов им.
М.П. Чумакова РАН**

Какие научные открытия недавно произошли в биомедицине?

Основных трендов я вижу два. Первый – постепенно внедряется в практику высокопроизводительное секвенирование (NGS). Соответственно, появляются новые возможности для персонализации медицины. И второй – редактирование генома, разработка новых медицинских средств.

Лет 10–15 назад появилась возможность скрининга пациентов по полиморфизмам генов, ответственных за те или иные заболевания. Но тогда анализ был дорогим и малоинформативным. Теперь же будут накапливаться большие данные, привязанные к данным высокопроизводительного секвенирования – данные о клинических исходах, об анамнезе, о переносимости лекарств и т.д. Разрабатываются многопараметрические экспертные системы, которые на основании больших данных дают прогноз по заболеваниям у конкретного больного; по тому, какие лучше принимать препараты; по продолжительности жизни и т.д.

В 2014–2015 гг. стало возможно редактировать человеческий геном при помощи систем CRISPR/Cas9, которые доставляются вирусными векторами. Теперь можно разрабатывать терапевтические средства, которые вводятся, предположим, внутривенно и встраивают в человеческий геном недостающие гены. В первую очередь это относится к конкретным заболеваниям: иммунодефицит, гемофилия и т.д.

Какие нестандартные научные теории и концепции имеются в этой области?

С появлением CRISPR/Cas9 технически возможно редактировать геном эмбрионов или, по крайней мере, подбирать оплодотворенные эмбрионы по требуемым параметрам. Это довольно смелая идея, прежде всего с этической точки зрения. В ближайшие 10 лет она будет активно обсуждаться.

Какие научные направления и подходы постепенно изживают себя?

Теряет актуальность диагностика при помощи ДНК-чипов и отчасти ПЦР-диагностика, их вытесняет высокопроизводительное секвенирование. В области генной терапии практически за один год устарели все работы на основе ретровирусов или лентивирусов. Скорее всего, себя будут изживать примитивные попытки работать со стволовыми клетками, если это не работы, основанные на понимании функционирования систем, а просто эмпирические попытки.

Какие Вы видите прорывные направления и сценарии развития биомедицины на ближайшие годы?

Через пять лет мы получим возможность при экстракорпоральном оплодотворении выбирать характеристики эмбриона. Сможем встраивать недостающие гены в соматический геном людей с наследственными заболеваниями. Лет через 15 можно обсуждать редактирование генома у человеческих зародышей. Через пять лет появятся системы персонализированной медицины на основе больших данных.

С какими проблемами столкнутся научный мир и общество? К каким последствиям это приведет?

Основное последствие – вся генетика человека станет искусственной, и возможность выбирать ребенка с желаемыми параметрами или редактировать геном снизит биологическое разнообразие. С экологической точки зрения это несет угрозу. Разнообразие генов в популяции, на первый взгляд не очень удачных, необходимо, чтобы противостоять разнообразию микроорганизмов, которые существуют и постоянно возникают в природе. При снижении гетерогенности человечество станет более восприимчивым к возникающим заболеваниям.

Какое место в этих процессах занимает Россия, какие у нее перспективы?

Нашим основным научным конкурентом является Иран, и мы от него сильно отстаем – по моим оценкам, в нашей области в два раза. Перспективы будут зависеть от законодательных мер, материальных и организационных.

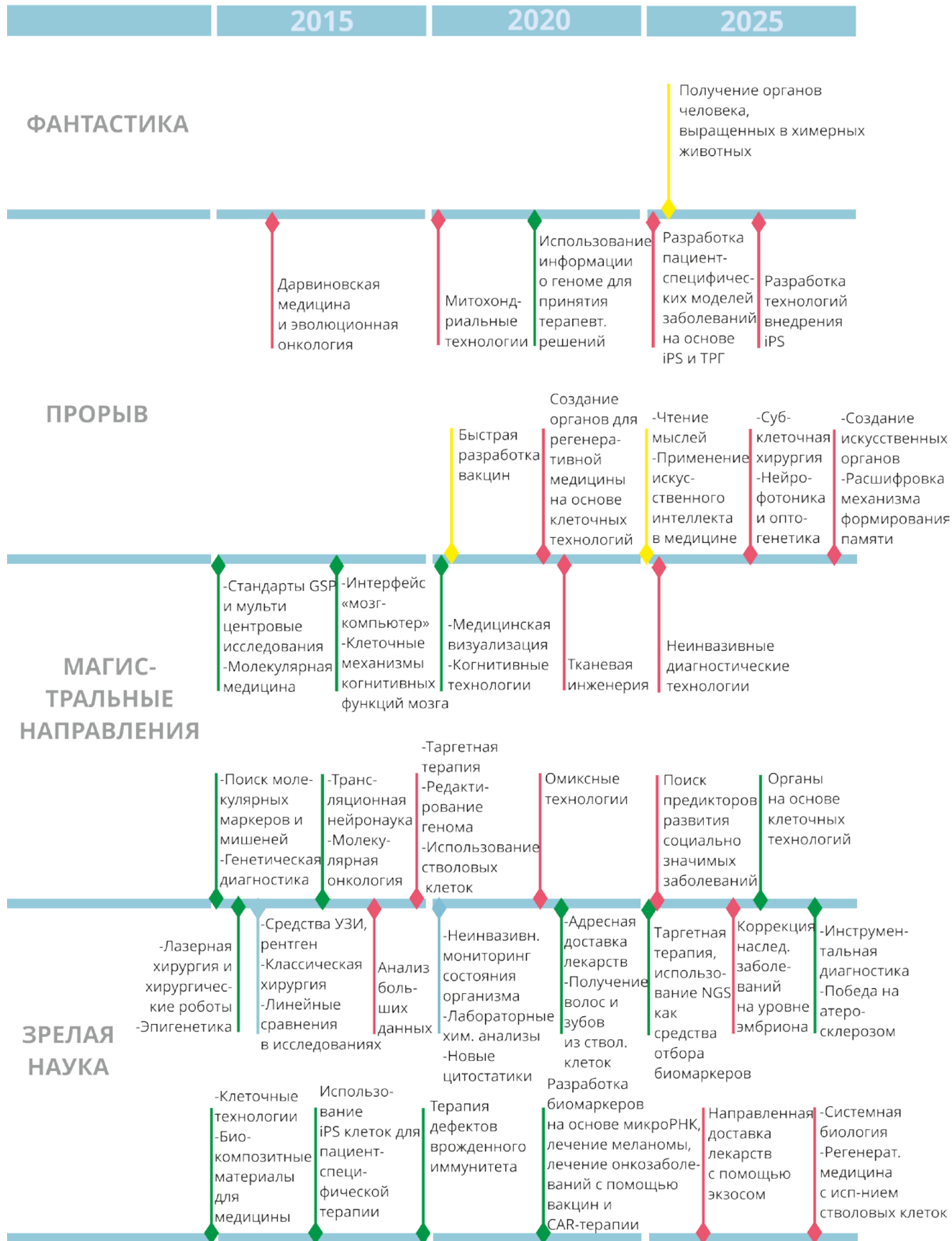
Ожидаемые прорывы биомедицинской науки

МАГИСТРАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ		ПРОРЫВ	
Адресная доставка лекарств	Исследования на постгеномных технологиях	Малые молекулы	Перепрограммирование соматических клеток
Молекулярная медицина	Иммунология	Предикторы соц.значимых заболеваний	Омиксные технологии
Секвенирование генома	Большие данные	Персонализированная медицина (4П-медицина)	Таргетная терапия
Биомаркеры и предикторы	Клеточные технологии	CRISPR	Неинвазивная диагностика и мониторинг
Диагностика и лечение онкопатологий, в т.ч. с применением ГМ-клеток	Таргетная терапия	Диагностика на постгеномных технологиях	Системная биология
Новые методы диагностики в т.ч. инструментальные, генетические, real time	Омиксные технологии	Большие данные	Лечение рака без цитостатиков
Гаплоидентичная трансплантация костного мозга	Стволовые клетки	Синтетическая биология	Молекулярная и клеточная онкология
Использование информации о геноме для терапевт. решений	Микро-РНК для диагностики и лечения	iPS и регенерат. медицина	Генная терапия патологий мозга
Интерфейс «мозг-компьютер»	Эпигенетика	Вакцины для онкологии	Дарвиновская медицина и эволюц. онкология
Когнитивные функции	Лазерная хирургия	Управление когнитивными функциями	Нейрофотоника и оптогенетика
iPS-клетки для пациент-специфичной терапии	Трансляционная нейронаука	Искусственные органы	Митохонд. технологии
	Медицинская визуализация	Субклеточная хирургия	Биология поведения
	Биокомпозиаты	Вакцины от ВИЧ/СПИД и др. медленных инфекций	
	Редактирование генома		
ЗРЕЛАЯ НАУКА		ФАНТАСТИКА	
Профилактика социально значимых заболеваний	Создание химических препаратов в сфере фармакологии	Внедрение практических результатов персонифицированной медицины	Системы информационного уровня
Классические, неперсонализированные методы диагностики, УЗИ, рентген, лаб. анализы	Разработка иммуномодулирующих препаратов	Использование искусственного интеллекта в лечении заболеваний	Диагностика по естественным жидкостям
Биомаркеры	Низкодозазательные, основанные на линейном сравнении исследования	Чтение мыслей	Моделирование сложных биосистем на молек. уровне
Классическая хирургия	Трансплантация пуповинной крови взрослых	Регенерация органов и всего организма	Создание искусств. организмов
Новые цитостатики	Борьба с инфекционными заболеваниями	Получение организмов с новыми свойствами	3D-печать сложных органов и пересадка головы
		Быстрая разработка вакцин	Модификация человека для жизни на др. планетах
		Сверхранняя диагностика	Универсальные методы борьбы с инфекциями
		Генетическая модификация человека	Искусственный разум, аналогичный человеческому

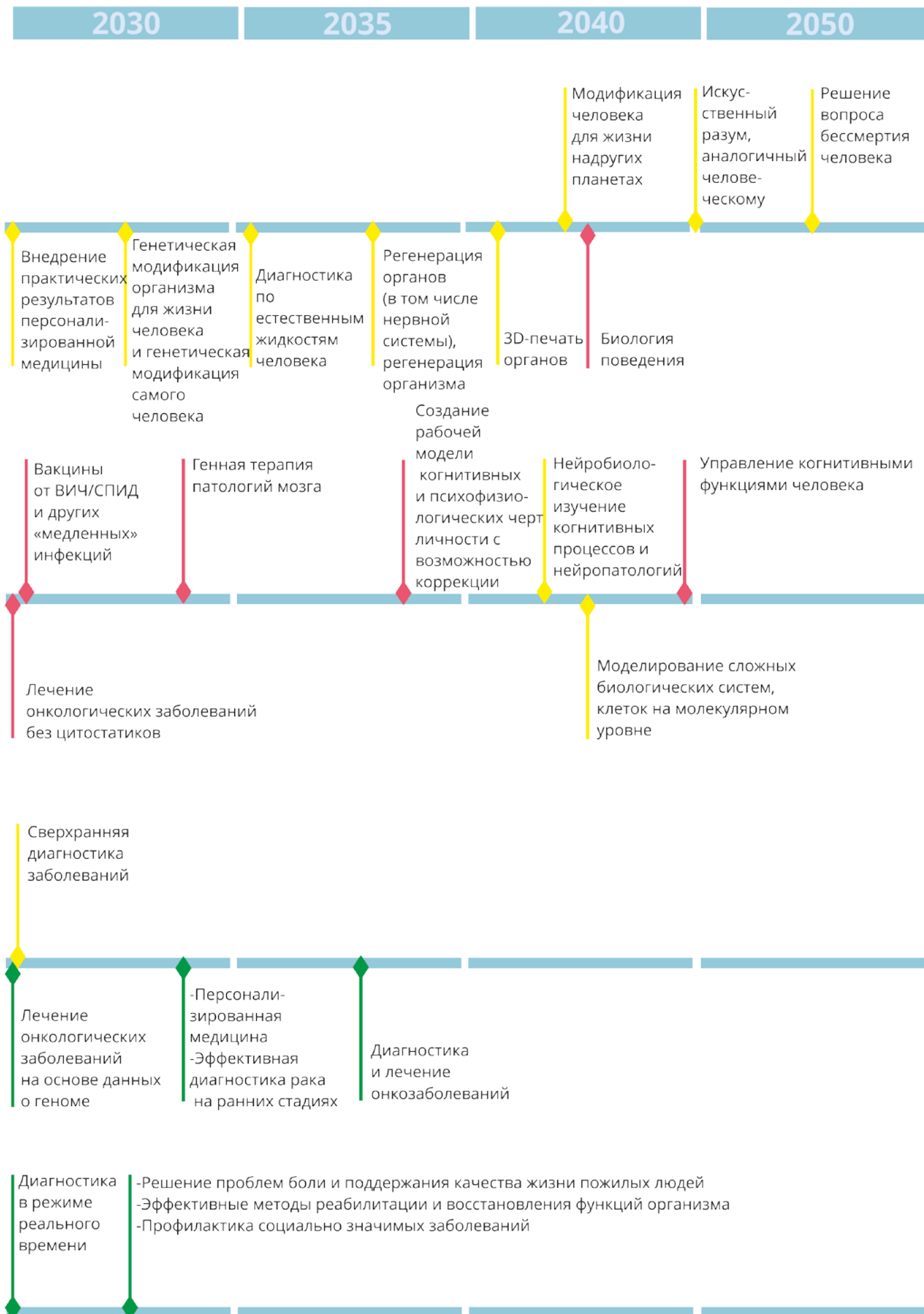
Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам форсайт-сессии

*Тематики исследований, флажки которых окрашены в два цвета, были отнесены участниками форсайт-сессии к разным секторам примерно в равной пропорции.

**При обсуждении перспектив развития биомедицины более широким кругом ученых, исследователи НИИ ревматологии им. В.А. Насоновой предложили учесть такое направление научных исследований, как хроническое воспаление и аутоиммунитет, «составляющие суть современной ревматологии».

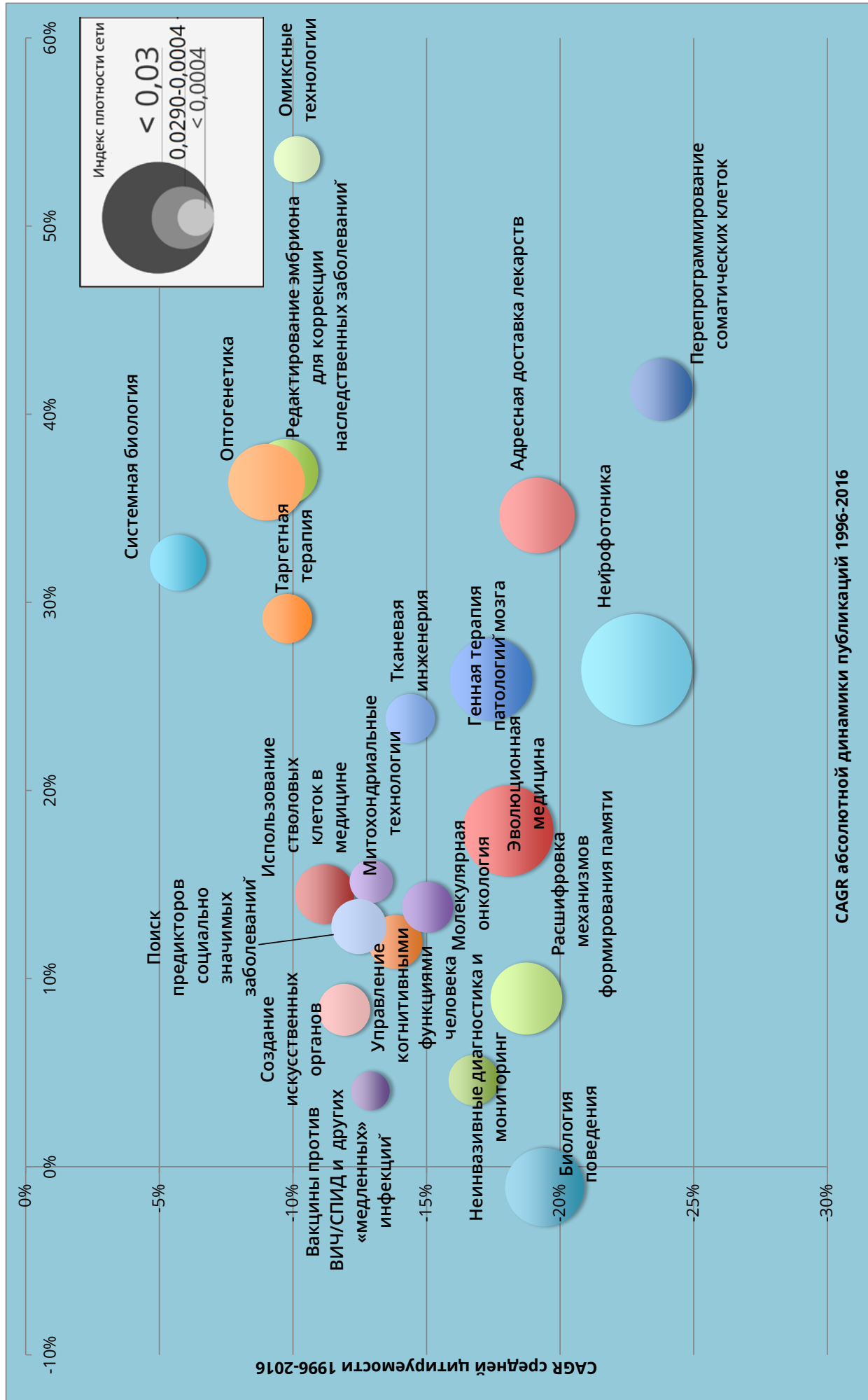


*Цвет флажка тематики обозначает, к какому сектору участники форсайт-сессии отнесли тематику на карте биомедицины-2016: желтый – фантастика, красный – прорыв, зеленый – магистральные направления, синий – зрелая наука.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам форсайт-сессии

Карта динамики прорывных направлений, 1996–2016 гг.



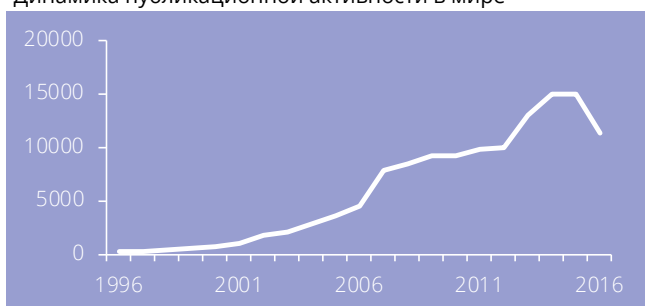
Индекс плотности научной сети определяет силу связи (коллаборации) между научными учреждениями. Чем ниже значение индекса, тем более раздроблено сотрудничество между вузами. Высокий индекс означает, что тематика разрабатывается совместно небольшим количеством университетов. Индекс, равный 1, означает, что статьи по теме пишутся только в коллаборации и ни одна научная группа не публикуется отдельно.

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным Scopus, 1,8 млн. статей

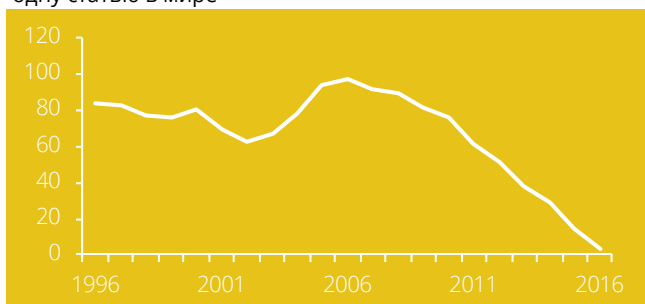
Тканевая инженерия открыла широкие перспективы для создания эффективных биомедицинских технологий, с помощью которых становится возможным восстановление поврежденных тканей и органов, лечение ряда тяжелых метаболических заболеваний человека. Цель тканевой инженерии – конструирование и выращивание вне организма человека живых, функциональных тканей или органов для последующей трансплантации пациенту с целью замены или стимуляции регенерации поврежденных органов или ткани.

Иными словами, на месте дефекта должна быть восстановлена трехмерная структура объектов⁴⁰. Уже сегодня создание искусственных моделей ткани человека с использованием 3D-печати значительно улучшает предсказательную точность при клинической разработке лекарств, снижая необходимость тестирования на животных⁴¹.

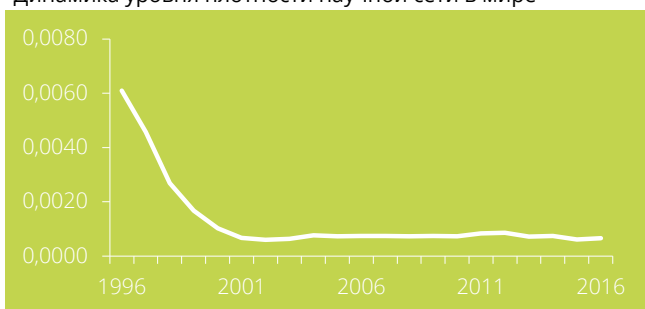
Динамика публикационной активности в мире



Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире*

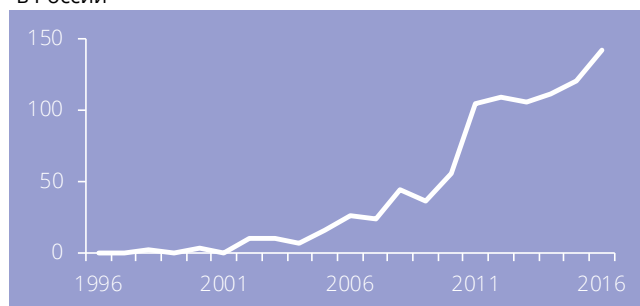


Динамика уровня плотности научной сети в мире*

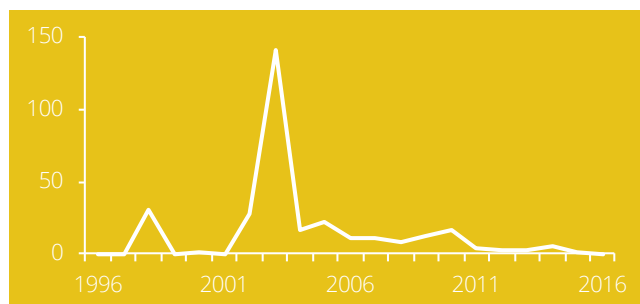


* Здесь и далее: вычисления среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью и динамики уровня плотности научной сети в случае, если количество статей в год превышает 2 000, основываются на данных 2 000 статей с наибольшей цитируемостью. Данное ограничение связано с особенностями работы базы данных Scopus.

в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 125 547 статей (1 019 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в последние годы снижается, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Низкий уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления. Для России количество публикаций растет, однако снижается среднегодовой уровень цитируемости российских публикаций.

⁴⁰Пешкова А. Тканевая инженерия — окно в современную медицину // «биомолекула.ру» <http://biomolecula.ru/content/949> (Просмотрено 22.11.2016)

⁴¹Stoye E. 3D printed tissues grow and develop in animal tests // CHEMISTRY WORLD <https://www.chemistryworld.com/news/3d-printed-tissues-grow-and-develop-in-animal-tests/9462.article> (Просмотрено 22.11.2016)

«Тканевая инженерия – одно из самых перспективных направлений, потому что если станет возможным заменять необратимо пораженные жизненно важные органы, то случится гигантский прогресс в медицине. Возникает возможность, используя донорский материал, делать органы в промышленных масштабах»

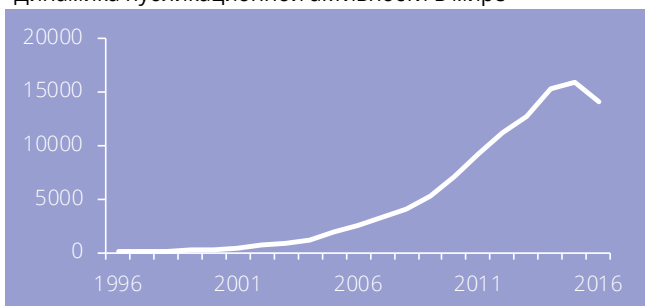
К.Н. Ярыгин, НИИ БМХ им. В.Н. Ореховича

Таргетная терапия

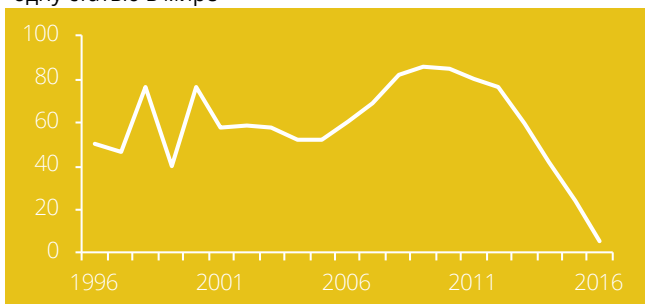
Основное применение таргетной терапии – лечение рака. Сегодня существуют таргетные методики лишь для нескольких видов рака, однако можно ожидать, что в будущем все возможные виды рака будут иметь свою форму таргетной терапии.

Суть метода заключается в блокировке молекул или генов, которые способствуют росту раковых новообразований. Эти гены или молекулы являются характерными для опухолевых клеток или клеток, связанных с ростом опухоли, например, клеток сосудов. Таким образом, можно воздействовать не только на опухоль, но и на метастазы⁴². Лекарства, разрабатываемые таргетным методом, способны

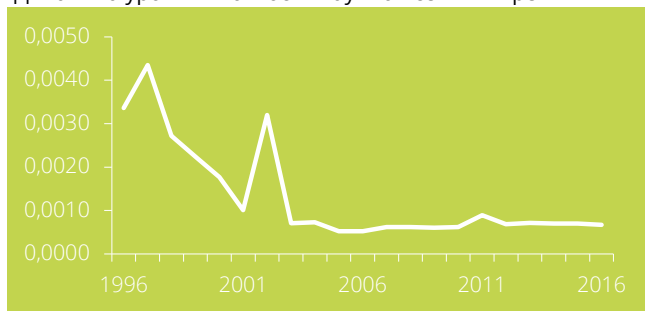
Динамика публикационной активности в мире



Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире

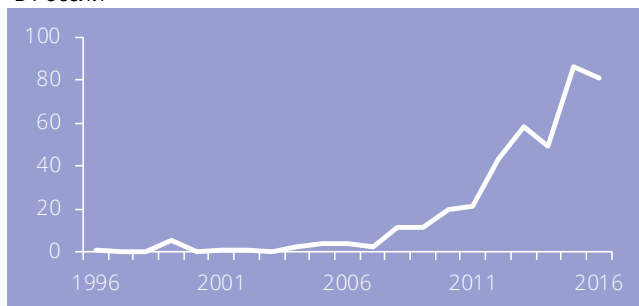


Динамика уровня плотности научной сети в мире

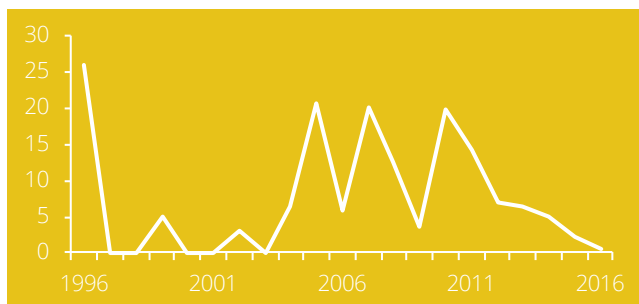


убивать клетки рака, предотвращать увеличение продолжительности жизни клеток сверх нормы, блокировать сигнал расти и делиться для раковых клеток. Есть два основных типа таргетной терапии: (1) моноклональные антитела, которые блокируют специфическую цель на раковых клетках или поставляют прямо в раковую клетку токсические вещества; (2) лекарства на основе малых молекул, которые блокируют процесс размножения и распространения стволовых клеток. Такие лекарства также блокируют рост сосудов вокруг опухоли⁴³. Сейчас уже разработаны таргетные лекарства от меланомы, рака груди и рака легких⁴⁴.

в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 105 592 статей (из них 561 статья с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в последние годы снижается, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Низкий уровень плотности сети коллабораций характерен для магистрального направления. Для России количество публикаций растет, однако снижается среднегодовой уровень цитируемости российских публикаций.

⁴²Новые методы лечения рака: таргетная терапия // oncomedic.org <https://www.oncomedic.org/новый-подход-к-лечению-рака> (Просмотрено 01.11.2016)

⁴³Targeted Cancer Therapies // National Cancer Institute <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/targeted-therapies/targeted-therapies-fact-sheet> (Просмотрено 01.11.2016)

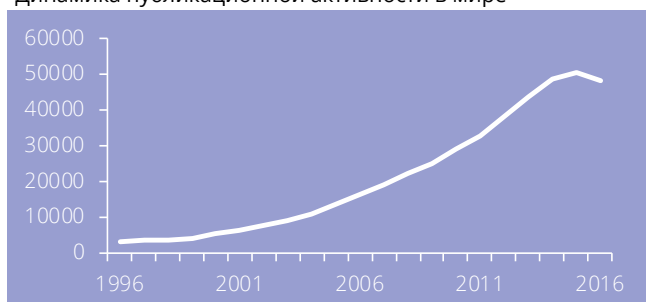
⁴⁴Understanding Targeted Therapy // American Society of Clinical Oncology (ASCO) <http://www.cancer.net/navigating-cancer-care/how-cancer-treated/personalized-and-targeted-therapies/understanding-targeted-therapy> (Просмотрено 01.11.2016)

Использование стволовых клеток в медицине

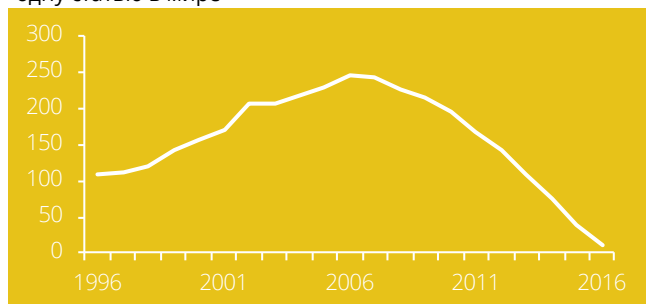
В рамках этого междисциплинарного направления уже разработано несколько новых видов терапии. Исследования позволили создать сложные ткани для пересадки, использующие особенности скаффолдных материалов и технологии работы с клетками для контроля над поведением клеток и восстановления тканей. Скаффолды (каркасы) могут быть сделаны так, чтобы соответствовать анатомии пациента, они позволяют осуществлять контроль над пространственным положением клеток. Сейчас разрабатываются стратегии по интеграции тканей с сосудистой и нервной системой пациента, а также ведется поиск новых источников клеток для трансплантации. Установлено, что стволовые

клетки могут дифференцироваться даже в такие высокоспециализированные клетки, как нейроны головного мозга⁴⁵. Современная медицина способна не только выращивать и культивировать стволовые клетки из их небольшого количества, взятого из организма, но и трансплантировать их. Плюрипотентные стволовые клетки человека, способные обновляться и превращаться практически в любую другую клетку, дают возможность моделировать человеческие заболевания. После направленной дифференцировки эти клетки демонстрируют специфические изменения, характерные для конкретного заболевания⁴⁶.

Динамика публикационной активности в мире



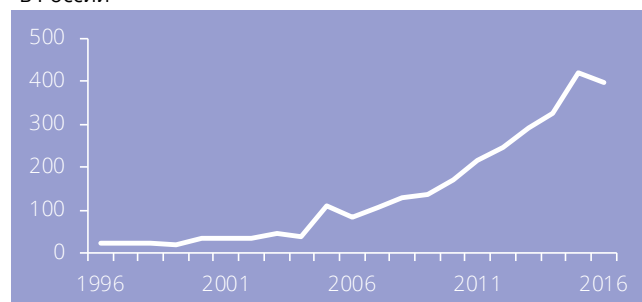
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



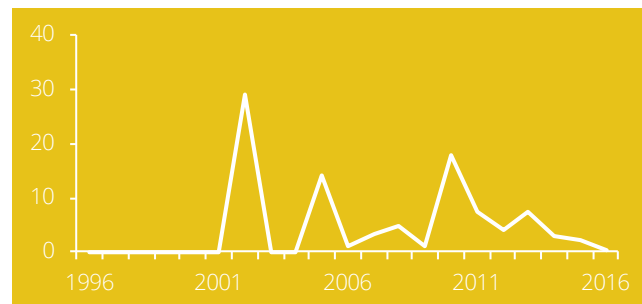
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 441 245 статей (3 611 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в последние годы снижается, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления – вероятен переход в зрелую науку. Для России количество публикаций растет, однако снижается среднегодовой уровень цитируемости российских публикаций.

⁴⁵Передовые клеточные технологии: от науки к практике // Новости GMP <http://gmpnews.ru/2016/04/peredovye-kletochnye-tehnologii-ot-nauki-k-praktike/> (Просмотрено 14.10.2016)

⁴⁶Avior Y., Sagi I., Benvenisty N., Pluripotent stem cells in disease modelling and drug discovery // Nature Reviews Molecular Cell Biology. – 2016. – Vol. 17. Pp. 170-182.

«С разработкой технологий по активации стволовых клеток, по управлению их дифференцировкой у нас появилась надежда, что мы сможем восстанавливать определенные ткани организма, может быть, даже органы, но пока эта работа только начинается. Успехи еще редки, но мы надеемся в течение 10–20 лет получить прорывные результаты»

А.С. Лукьянов, ИБХ РАН

Омиксные технологии

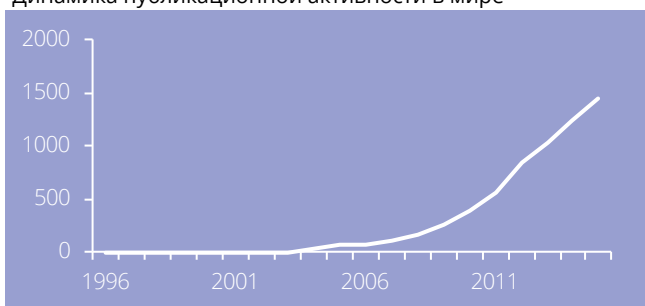
Омиксные технологии – комплекс современных технологий, включающий геномику, транскриптомику, протеомику и эпигеномику и т.д. (всего более 10 направлений).

Современные аналитические техники предоставляют возможности по анализу биомедицинских образцов на уровне генов, транскриптов, пептидов, протеинов, метаболитов и металлических ионов. Четкая картинка, которую позволяет прорисовать этот подход, дает возможности для лучшего понимания сложных патологий и последовательной персонализации диагностирования, прогнозирования и лечения⁴⁷.

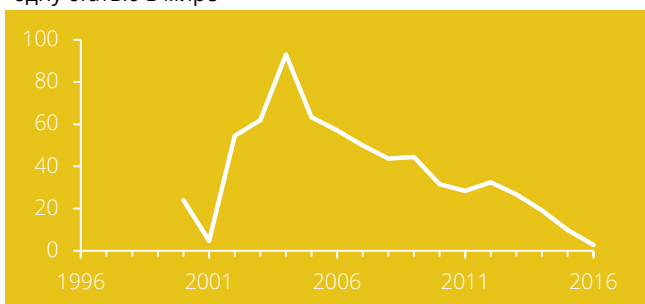
Одно из применений омиксных технологий в медицине – целевое воздействие на микробиом, позволяющее, например, модулировать иммунную систему для снижения риска хронических заболеваний, таких как аллергии, ожирение, рак и некоторые психиатрические заболевания⁴⁸.

Микробиомные технологии сыграют ключевую роль в разработке новых платформ для разработки лекарств в эре прецизионной медицины. Они позволят сформировать более персонализированный подход как в диагностике, так и в терапии⁴⁹.

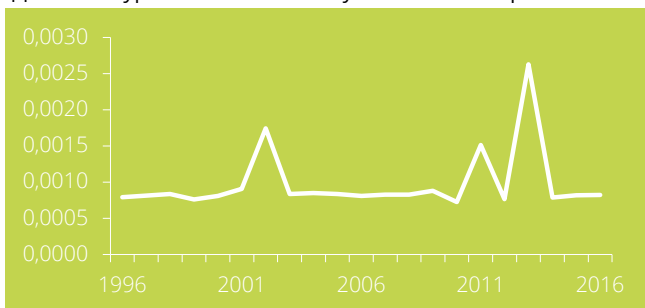
Динамика публикационной активности в мире



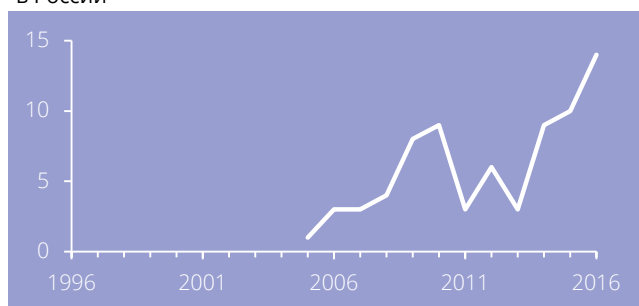
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 6 259 статей (260 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Научная тема обладает положительной динамикой публикационной активности, но отрицательным ростом среднегодового уровня цитируемости. Уровень плотности сети предполагает верификацию в научных статьях – научная тема стремится к магистральному направлению. В России данная тема только начала получать развитие.

⁴⁷Daubon T. et al. Practical Considerations for Omics Experiments in Biomedical Sciences // Current Pharmaceutical Biotechnology 2016. Vol.17. Iss 1. Pp. 105 - 114

⁴⁸Kinross et al. Gut microbiome-host interactions in health and disease // Genome Medicine. 2011;3(3):14. doi:10.1186/gm228.

⁴⁹Top Trends in Health and Science for 2014// The Regents of the University of California <https://www.ucsf.edu/news/2013/12/110666/top-trends-health-sciences-2014> (Просмотрено 29.09.2016)

«Я бы обратил внимание на комбинации «-омикс»-технологий: протеомика, метаболомика. Здесь можно отметить как дополнительный момент то, что не очень активно звучит, но тоже перспективно – гликомика»

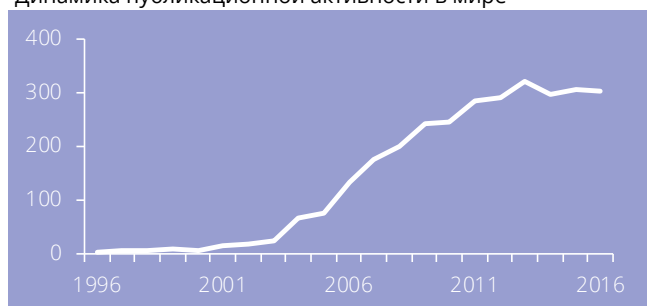
Ю.В. Кистенев, НИ ТГУ

Эволюционная медицина

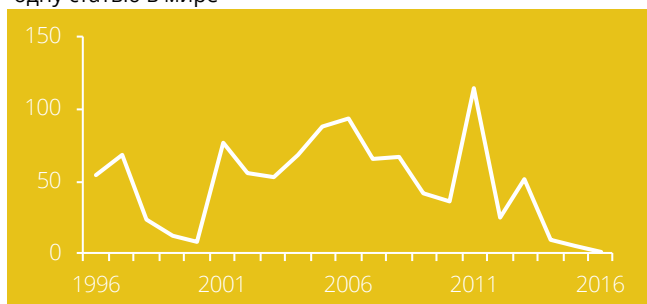
Эволюционная (дарвиновская) медицина предполагает использование базовых основ эволюционной биологии в медицине и здравоохранении⁵⁰. Подход использует ключевые понятия теории эволюции, такие как компромисс между оптимальными решениями, пределы адаптации, естественный отбор. Такое понимание позволяет пересмотреть патофизиологию ряда заболеваний, например, инфекций или так называемых болезней цивилизации: диабета 2 типа, аллергий и онкологических заболеваний. Эволюционная медицина может также оказать влияние на наши знания об индивидуальных

особенностях восприимчивости к заболеваниям и лекарствам⁵¹. Существует потенциал у этого подхода в области понимания таких явлений, как старение и психические расстройства. Есть ряд прямых применений этого направления. Например, врачи, понимающие, как отбор сформировал регуляционные механизмы организма, могут принимать лучшие решения относительно применения лекарств. В будущем, возможно, эволюционная медицина позволит определить, какие именно характеристики современной среды вызывают эпидемию аутоиммунных заболеваний⁵².

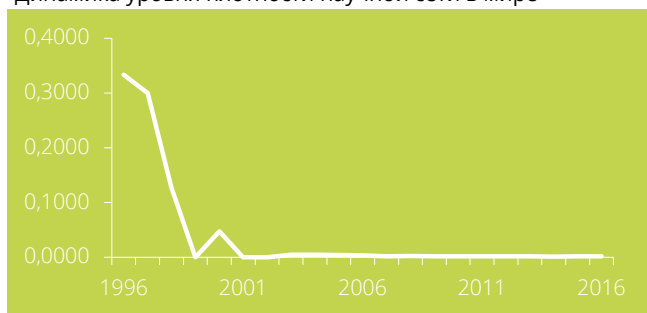
Динамика публикационной активности в мире



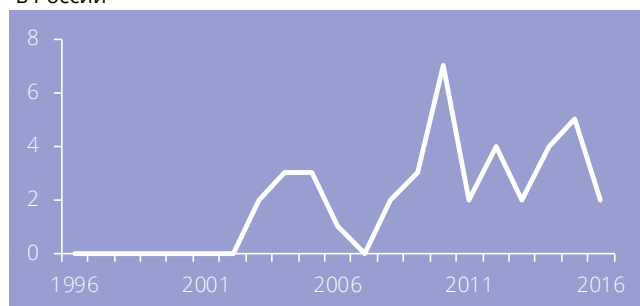
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



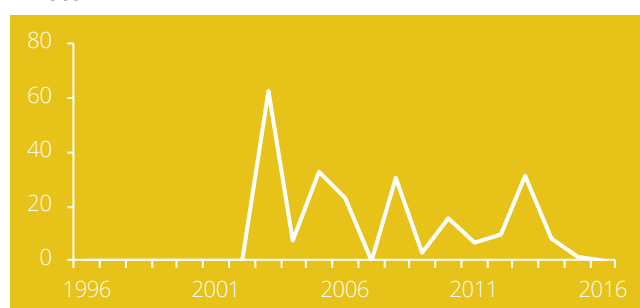
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 3 016 статей (40 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Научная тема обладает положительной динамикой публикационной активности, но нестабильным среднегодовым уровнем цитируемости (что означает наличие относительно небольшого количества знаковых статей). Уровень плотности сети характерен для магистрального направления, но количество опубликованных статей пока не позволяет сделать окончательный вывод. Для России количество публикаций нестабильно, среднегодовой уровень цитируемости ниже общемирового.

⁵⁰Darwinian Medicine Basic theory with Practical Uses for Public Health // WHO http://www.who.int/global_health_histories/seminars/presentation11.pdf (Просмотрено 12.10.2016)

⁵¹Bauduer F. Evolutionary medicine: A new look on health and disease // Rev Med Interne. 2017 Mar;38(3):195–200. doi: 10.1016/j.revmed.2016.12.008.

⁵²Nesse R.M., Stearns S.C. The great opportunity: Evolutionary applications to medicine and public health. Evolutionary Applications. 2008;1(1):28-48. doi:10.1111/j.1752-4571.2007.00006.x.

КАНДИДАТНЫЕ ПРОРЫВЫ

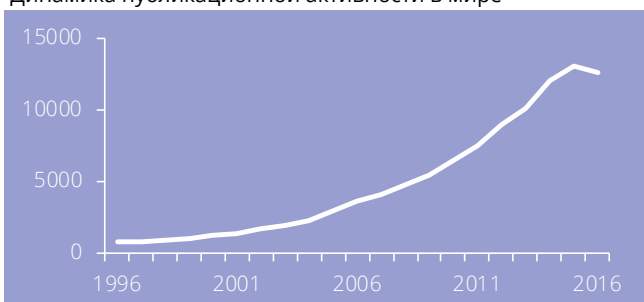
Митохондриальные технологии

Митохондрии играют важнейшую роль в работе и выживании клетки. Они влияют на иммунную систему, определяя чужеродные организмы через сигнальные пути (например, инфламмосомы) и генерируя иммунный ответ. Регулирование этой роли создает значительный терапевтический потенциал. Митохондрии вносят вклад в регенерацию тканей⁵³. Процессы в митохондриях оказывают влияние на развитие заболеваний, например, нейродегенеративных и сердечных патологий, диабета, рака. Кроме того, существуют редкие врожденные метаболические заболевания, меняющие работу митохондриальных белков.

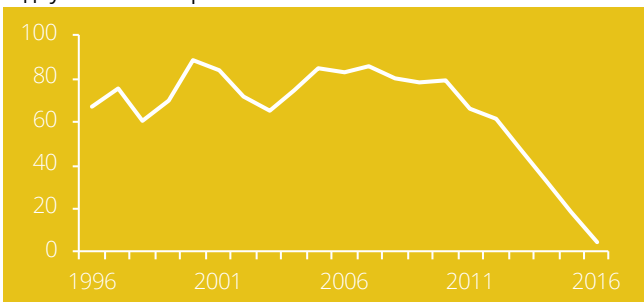
Новые технологии позволяют изучать митохондрии более детально, чем раньше.

Рост научных знаний о связи митохондрий с иммунитетом, эпигенетикой и стволовыми клетками сможет заложить основы для новых видов лечения и восстановления тканей. Сейчас основной вызов в связи с исследованиями митохондрий – поиск ответа на вопрос, какие именно изменения в митохондриях ведут к развитию заболеваний. Это происходит через картирование как можно большего числа взаимодействий между белками внутри митохондрии. На данный момент идентифицировано около 1100 белков, и функции только половины из них исследованы⁵⁴.

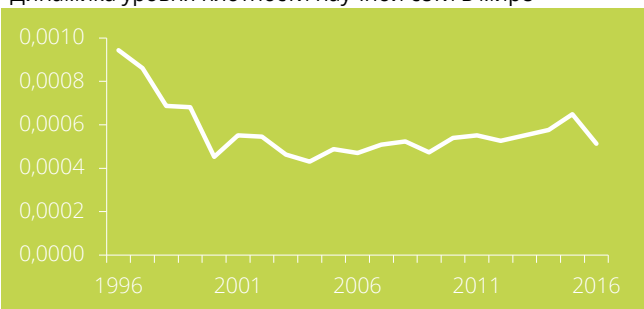
Динамика публикационной активности в мире



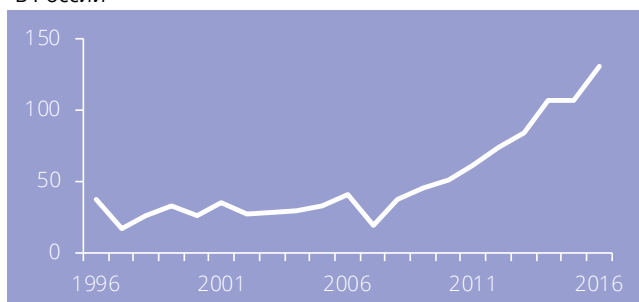
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



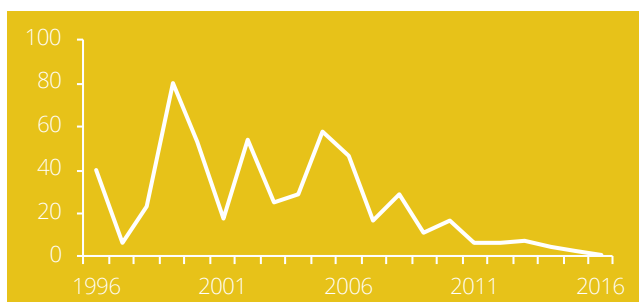
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 103 138 статей (1266 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в последние годы снижается, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Уровень плотности коллабораций характерен для магистрального направления – вероятен переход в зрелую науку. Для России количество публикаций растет, однако в последние годы среднегодовой уровень цитируемости российских статей остается низким.

⁵³Cherry C. et al. 2016: A Mitochondria' Odyssey // Trends in Molecular Medicine. 2016.

⁵⁴Carlson E. Mighty Mitochondria Play Life-and-Death Roles in Cells // Live Science <http://www.livescience.com/47979-mighty-mitochondria-nigms.html> (Просмотрено 13.11.2016)

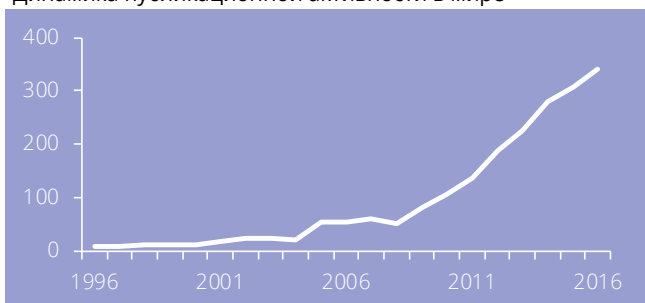
К Л Ю Ч Е В Ы Е П Р О Р Ы В Ы

Поиск предикторов социально значимых заболеваний

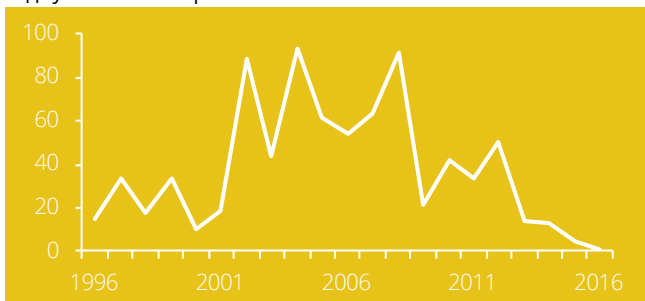
Широкий спектр социально значимых и зачастую неизлечимых заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, диабет, рак, поддается терапии и купированию симптомов гораздо легче на самых ранних стадиях своего появления. Этот факт делает значимой разработку методов сверхраннего выявления признаков заболеваний или предикторов его возможного проявления в ближайшее время.

Изменения в этой сфере возможны благодаря достижениям в области генетики, геномики и омиксных технологий в целом. Генетические тесты позволят лечить на ранней стадии, и, возможно, даже предупреждать целый ряд социально значимых заболеваний. Для болезни Альцгеймера ведется разработка когнитивных тестов.

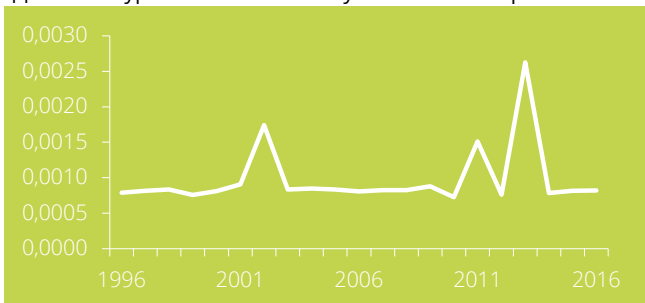
Динамика публикационной активности в мире



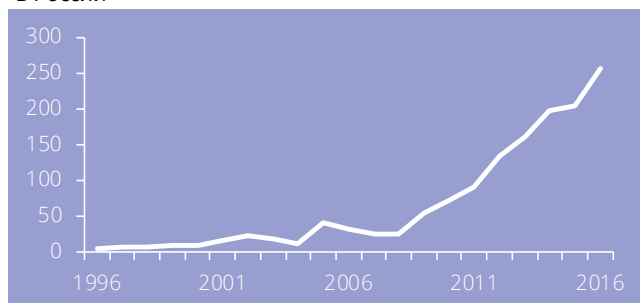
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



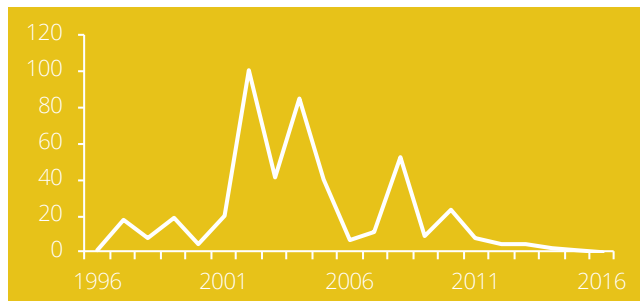
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 522 156 статей (2 019 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Научная тема обладает положительной динамикой публикационной активности, но нестабильным среднегодовым уровнем цитируемости, что означает наличие относительно небольшого количества знаковых статей. Уровень плотности научной сети также нестабилен. Тематика стремится к магистральному направлению. Показатели России соответствуют общемировым.

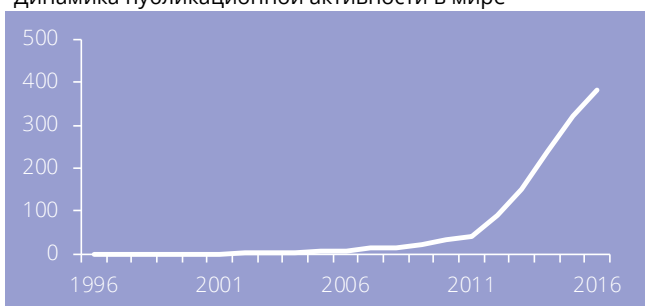
Адресная доставка лекарств экзосомами

Экзосомы – это небольшие внутриклеточные мембранные везикулы с различным составом, которые участвуют в ряде биологических и патологических процессов. Использование экзосом для доставки лекарств предполагает ряд важных преимуществ в сравнении, например, с нанодоставкой, поскольку экзосомы не провоцируют иммунный ответ (в силу их сходства с собственными клетками тела).

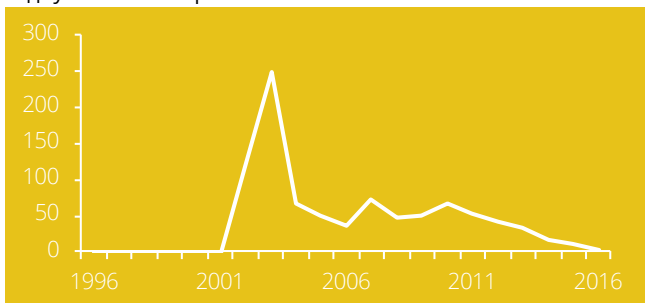
Другим преимуществом экзосом является отсутствие нежелательного аккумуляирования в печени. Экзосомы также способны увеличивать эффективность поставляемых с ними лекарств и преодолевать барьер крови и мозга⁵⁵.

Таким образом, экзосомы являются весьма многообещающим направлением в терапии для доставки синтетических и биологических молекул для клеточной терапии.

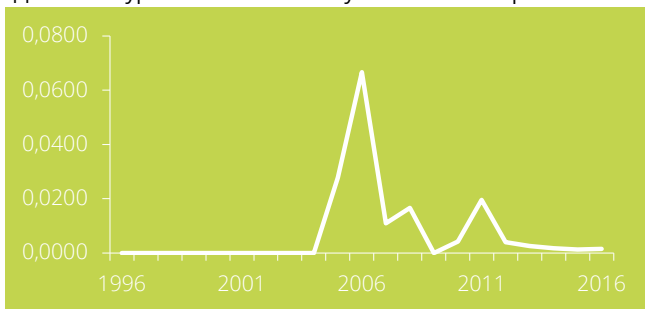
Динамика публикационной активности в мире



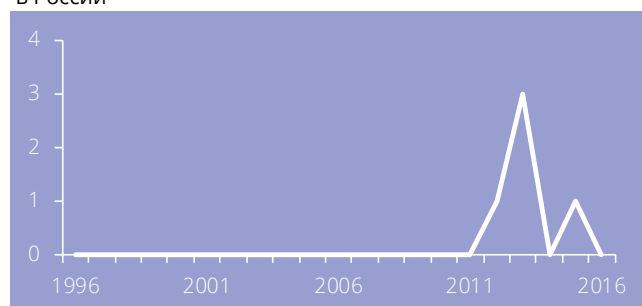
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



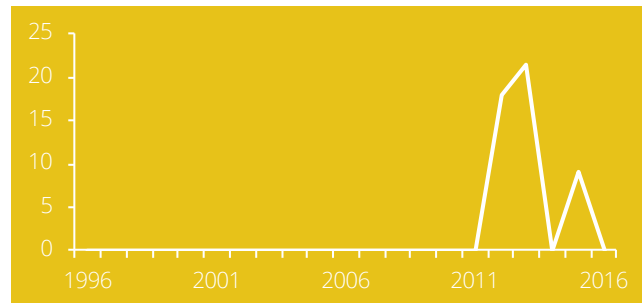
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 1 232 статей (10 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Научная тема обладает положительной динамикой по публикациям, но отрицательной по среднегодовому уровню цитируемости. Снижающийся уровень плотности научной сети позволяет предположить, что тематика стремится к магистральному направлению в нашей модели представления научной карты. Для России количество публикаций по теме мало, а уровень среднегодовой цитируемости нестабилен.

⁵⁵Ha D., Yang N., Nadihe V. Exosomes as therapeutic drug carriers and delivery vehicles across biological membranes: current perspectives and future challenges // Acta Pharmaceutica Sinica B. – July 2016. Vol. 6. – Issue 4. – Pp. 287-296.

«На последнем конгрессе кардиологов показали создание уже искусственных экзосом, загруженных специально целевыми микро-РНК, которые могут индуцировать регенеративную программу в клетках сердечно-сосудистой системы. Также передовое направление, которое следовало бы развивать»

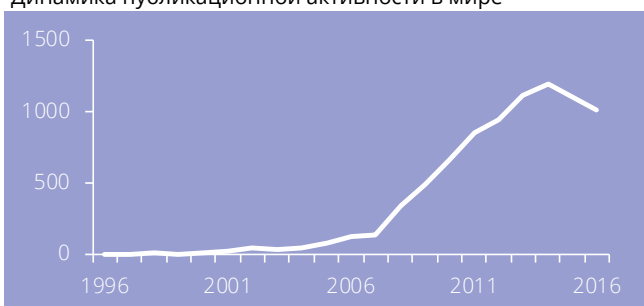
Е.В. Парфенова, РКНПК

Перепрограммирование соматических клеток

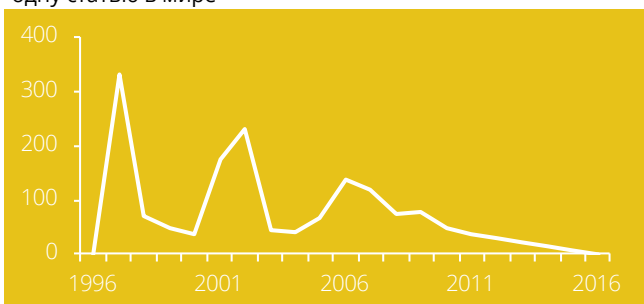
Соматические клетки могут быть перепрограммированы в индуцированные плюрипотентные стволовые клетки посредством ряда методов, включающих влияние на экспрессию генов, или посредством микро-РНК⁵⁶. Открытие биофизических механизмов, влияющих на перепрограммирование, имеет огромное значение для совершенствования методов получения стволовых клеток и для разработки новых биоматериалов.

Сейчас известны методы химического воздействия (например, применение определенных смесей веществ), позволяющие постепенно трансформировать фибробласты в клетки, близкие к органоспецифическим стволовым клеткам, и в конечном итоге в клетки сердца и головного мозга⁵⁷. Эти способы являются довольно эффективными и надежными методами перепрограммирования клеток, позволяющими избежать проблем, связываемых с генной инженерией.

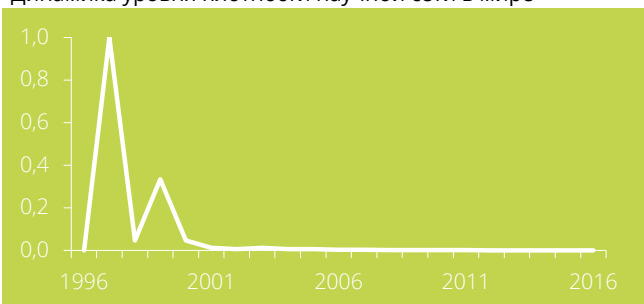
Динамика публикационной активности в мире



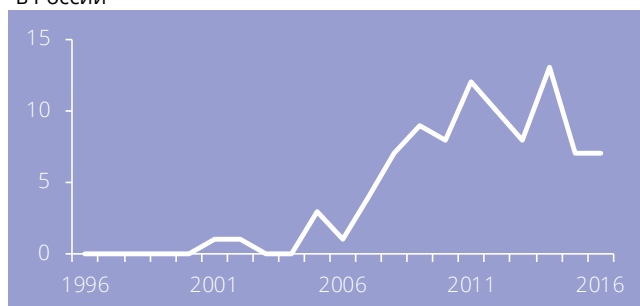
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



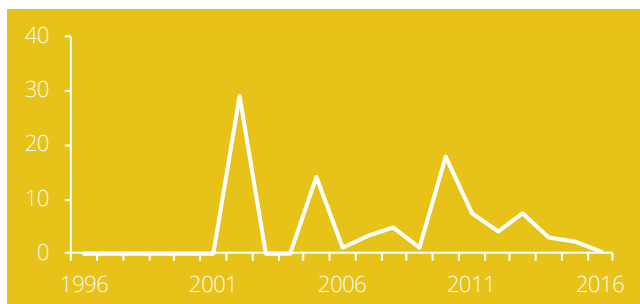
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 8 184 статей (88 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в последние годы снижается, а уровень среднегодовой цитируемости падает. Уровень плотности сети характерен для магистрального направления в нашей модели представления научной карты. Для России количество публикаций по теме мало, а среднегодовой уровень цитируемости нестабилен.

⁵⁶Rais Y., et al. Deterministic direct reprogramming of somatic cells to pluripotency // Nature. 2013 Oct 3; 502(7469):65-70. doi: 10.1038/nature12587

⁵⁷Перепрограммирование без генной инженерии: доктор Дин и его коктейли <https://defence.ru/article/10240/> (Просмотрено 24.10.2016)

«То, что сейчас есть, – это прямое перепрограммирование фибробластов в кардиомиоциты. Последняя публикация – возможность сделать это не генетическими методами, а с помощью фармакологического перепрограммирования при помощи малых молекул-ингибиторов внутриклеточных сигнальных путей. Это передовая технология, от которой можно многого ожидать»

Е.В. Парфенова, РКНП

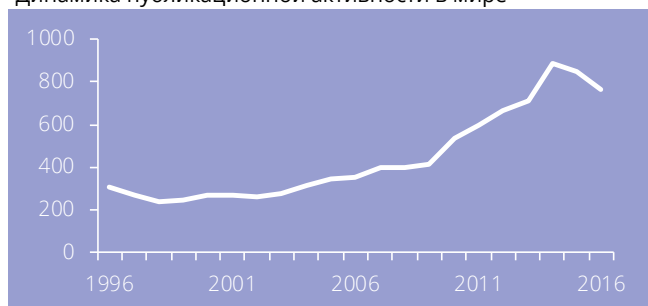
Неинвазивные диагностика и мониторинг физиологических и патологических процессов

Неинвазивная, комфортная для пациента, но в то же время быстрая диагностика, является давним запросом медицины. Особенно большая потребность сейчас проявилась в быстрых методах диагностики в связи с распространением ряда редких заболеваний, например, различных штаммов Эболы или вируса Зика.

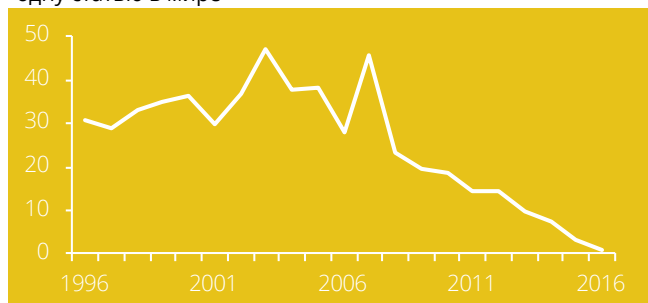
Последние достижения в сфере диагностики:

- портативные электрохимические платформы с мультиплексными и телемедицинскими возможностями для диагностирования ВИЧ и гепатита С по образцам сыворотки крови;
- носимые графеновые пластыри для неинвазивного мониторинга глюкозы и безболезненного введения лекарств;

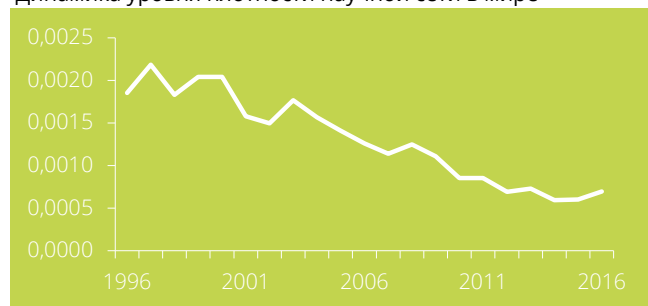
Динамика публикационной активности в мире



Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



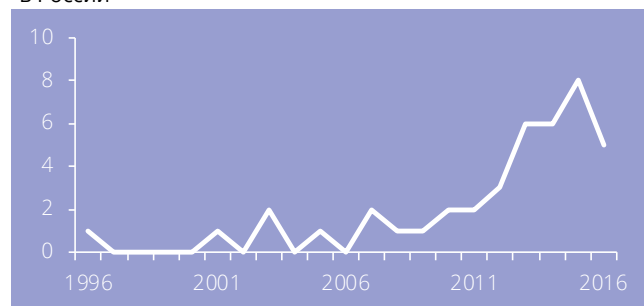
Динамика уровня плотности научной сети в мире



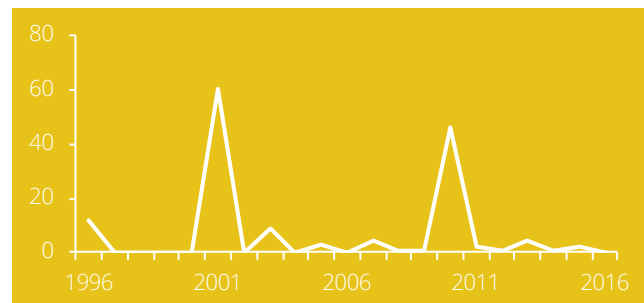
- микрожидкостное устройство, использующее автоматические сенсоры давления для анализа процесса свертывания крови в реальном времени.

Многие устройства диагностики и мониторинга состояния пациентов содержат не только сенсор, но и когнитивный элемент для передачи информации. Этот элемент включает когнитивное радио, монитор и трансмиттер. Монитор получает информацию, определяет уровень ее приоритета на основе набора правил и выбирает, какую информацию передавать⁵⁸.

в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 9 372 статей (43 статьи с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в последние годы снижается, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Снижающийся уровень плотности научной сети предполагает, что тематика стремится к магистральному направлению в нашей модели научной карты. В России количество публикаций по теме мало, однако цитируемость ряда статей достаточно высокая.

⁵⁸Technology Landscape // CITRIX 2020 Technology Landscape. – April 2015.

«Скорее всего, появятся многопараметрические системы, которые будут на основании множества данных генома и на основании больших данных давать прогноз по заболеваниям у конкретного больного; по тому, какие лучше принимать препараты; по продолжительности жизни и т.д.»

А.Н. Лукашев, ИПВЭ им. М.П. Чумакова

Системная биология

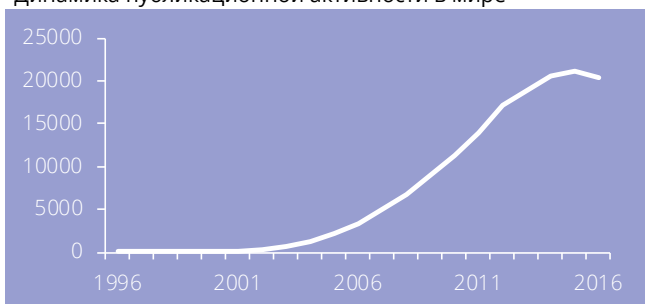
Системная биология – активно развивающаяся междисциплинарная область науки, которая анализирует сложные биологические системы с учетом их многокомпонентности, наличия прямых и обратных связей, а также разнородности экспериментальных данных. Предметом исследований в этой области может являться система регуляции генов, метаболизм, а также клеточная динамика и взаимодействия клеточной популяции.

Системная биология в настоящее время включает в себя как специфические экспериментальные техники, так и богатый теоретический арсенал. Моделирование в системной биологии является

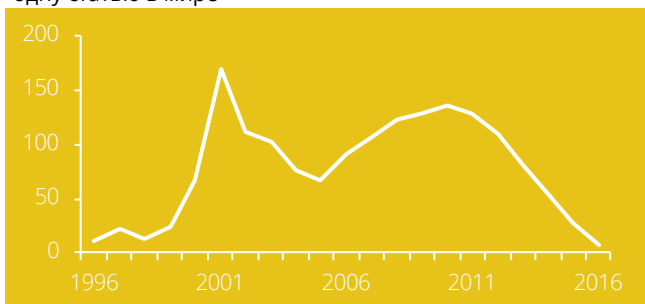
основным инструментом как для анализа и интегрирования экспериментальных данных, так и для предсказания поведения системы в условиях, отличных от экспериментальных.

Многие методы и подходы теоретической системной биологии могут напрямую использоваться для практических задач фармакологии и биоиндустрии. В частности, если необходимо количественно описать и предсказать поведение сложной метаболической или клеточной системы, либо оптимизировать ее функционирование, системно-биологическая модель становится единственной альтернативой затратному случайному перебору с использованием сложных экспериментальных методик⁵⁹.

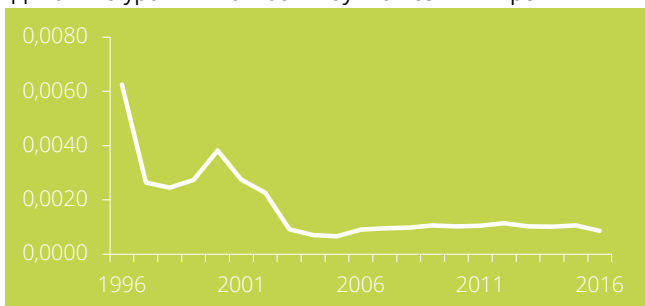
Динамика публикационной активности в мире



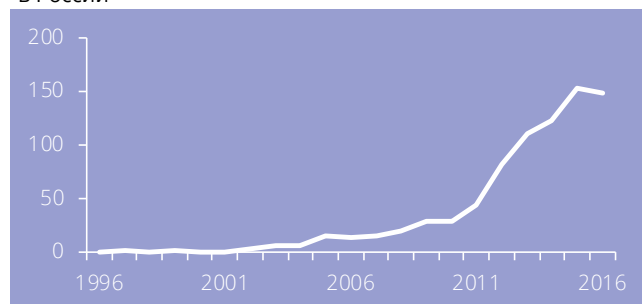
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



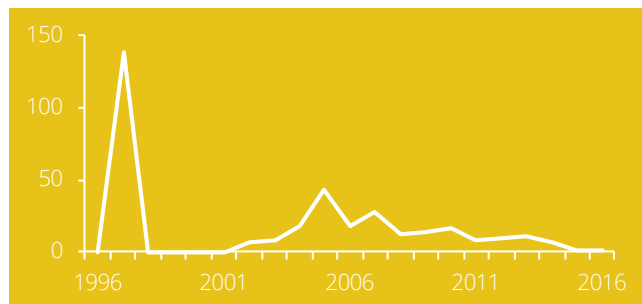
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 152 772 статей (1 207 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в мире в последние годы начинает снижаться, а среднегодовой уровень цитируемости падает на протяжении нескольких лет. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления – вероятен переход в зрелую науку. Для России количество публикаций растет, но средняя цитируемость российских публикаций остается низкой.

⁵⁹Системная биология // Институт системной биологии URL: <http://insysbio.ru/ru/research/3> (Просмотрено 11.11.2016)

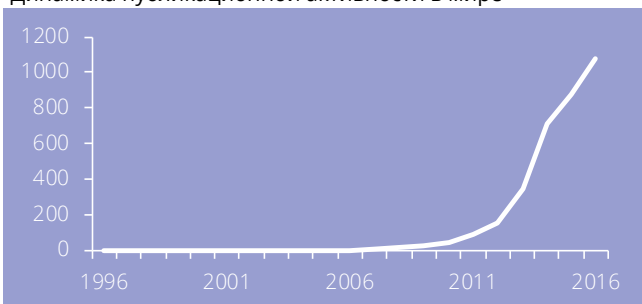
Редактирование эмбриона для коррекции наследственных заболеваний

В процессе изучения индивидуального генома можно получить новые данные о ДНК и факторах, приводящих к появлению здорового эмбриона. Эта информация, в свою очередь, может помочь в получении здоровых эмбрионов при проведении ЭКО, а также усовершенствовать способы излечения бесплодия. Метод CRISPR показал свою эффективность на зародышах обезьян и мышей. Пока еще технология недостаточно точна. Но в ближайшем будущем с помощью CRISPR/Cas9 можно будет начать лечить в первую очередь простые моногенные заболевания, такие, например, как бета-талассемия, муковисцидоз или гемофилия⁶⁰.

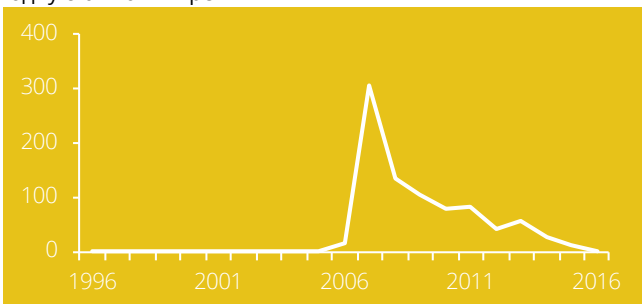
Возможность редактирования эмбрионов может существенно снизить частоту проявления генетических заболеваний у населения.

Тем не менее, редактирование генома на уровне целого эмбриона предполагает передачу изменений по наследству, что, как и ряд других аспектов, вызывает этические вопросы.

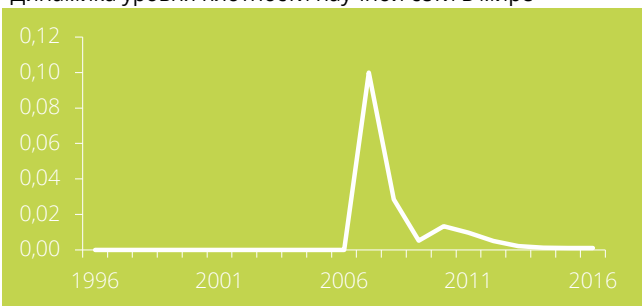
Динамика публикационной активности в мире



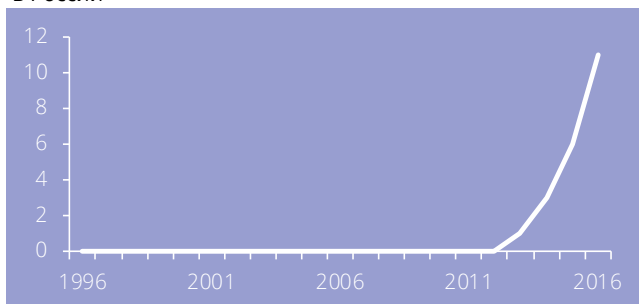
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



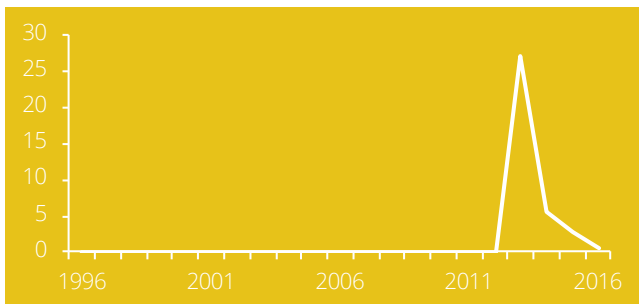
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 3 286 статей (43 статьи с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности в мире растет, однако среднегодовой уровень цитируемости снижается. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления. В России тема еще не получила достаточного развития.

⁶⁰Запомните эти буквы Что такое CRISPR/Cas9 и как эта технология изменит медицину // N+1 Интернет-издание <https://nplus1.ru/material/2016/02/02/crisprfaq> (Просмотрено: 01.11.2016)

«С появлением CRISPR/Cas9 и высокопроизводительного секвенирования технически возможно редактирование генома эмбрионов или, по крайней мере, подбор оплодотворенных эмбрионов на основании определенных требуемых параметров. Появится возможность на горизонте 5 лет встраивать недостающие гены в соматический геном людей с наследственными заболеваниями. Наверное, лет через 15 можно обсуждать редактирование генома у человеческих зародышей»

А.Н. Лукашев, ИПВЭ им. М.П. Чумакова

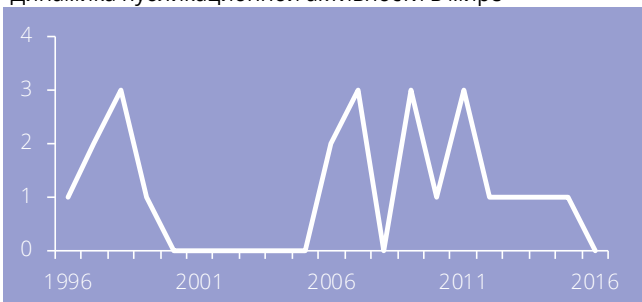
Лазерные манипуляции с тканями, отдельными клетками и даже молекулами становятся вполне разработанным направлением. Сильно сфокусированный пульсирующий источник лазерного излучения позволяет выполнять сложные задачи, например, разрабатывать «биокаркасы», осуществлять трансфекцию, стимулировать или даже удалять единичные клетки с субклеточной точностью, а также выполнять внутриклеточные хирургические протоколы на уровне отдельных органелл⁶¹.

Фемтосекундные лазеры обеспечивают высокое пространственное и временное разрешение, имеют большую глубину проникновения,

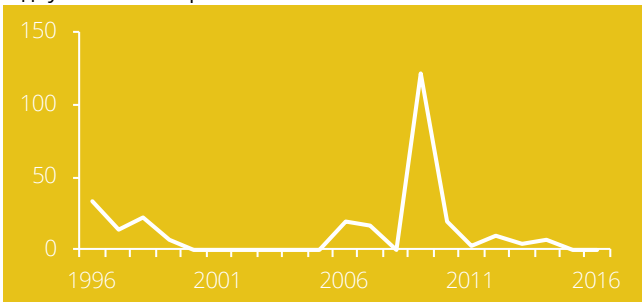
что очень важно, особенно в случае работы, например, с межклеточными (интерстициальными) тканями. Фемтосекундные лазеры показали свою эффективность в рассечении ядер заданных клеток, актиновых филаментов, хромосом, при отделении одной клетки от массы и инактивации органелл клетки, таких как митохондрия. Эта технология решает проблему доставки веществ в клетку⁶².

Технологии фемтосекундной хирургии позволяют провести микроманипуляции с органеллами внутри живой клетки или с мембраной, не убивая при этом клетку. Эту методику также можно использовать в нанонейрохирургии для разрыва соединений между отдельными нейронами⁶³.

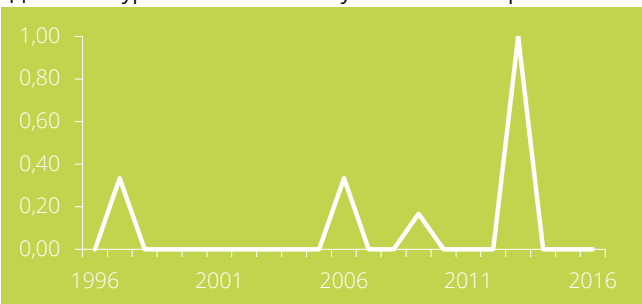
Динамика публикационной активности в мире



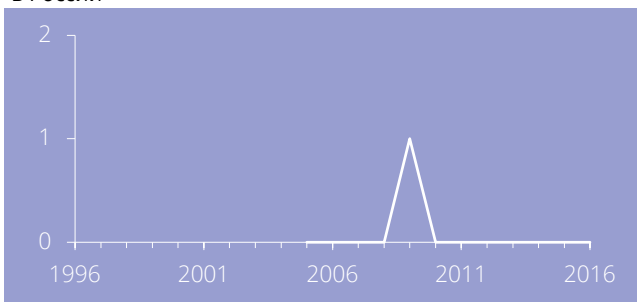
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



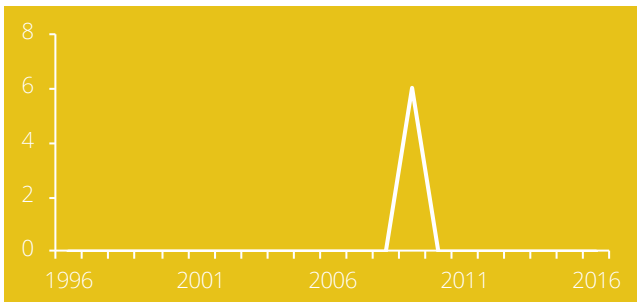
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 23 статей (3 статьи с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Всплеск интереса к данной тематике наблюдался после 2009 года. Однако в настоящее время перспективы темы не ясны.

⁶¹Soloperto A. et al. Laser Nano-Neurosurgery from Gentle Manipulation to Nano-Incision of Neuronal Cells and Scaffolds: An Advanced Neurotechnology Tool // *Frontiers in Neuroscience*. 2016. Vol. 10. No. 101.

⁶²Kosheleva N. V. et al. Laser-based technique for controlled damage of mesenchymal cell spheroids: a first step in studying reparation in vitro // *Biology Open*. 2016. Vol. 5. No.7. Pp. 993-1000.

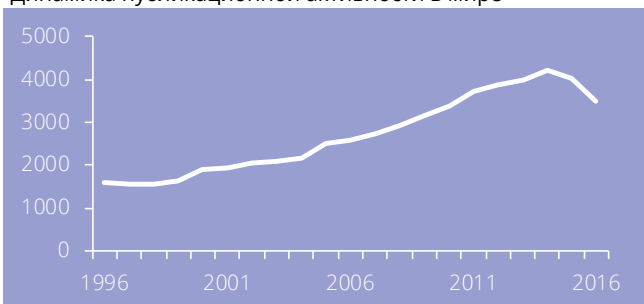
⁶³Фемтосекундные лазеры и нанохирургия // ИД «ПостНаука» <https://postnauka.ru/video/53386> (Просмотрено 10.12.2016)

Создание искусственных органов

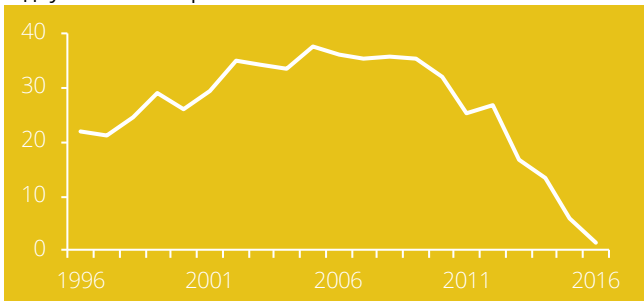
Создание искусственных органов и тканей оформилось в самостоятельную отрасль науки около десяти лет тому назад. Первые достижения этого направления: создание искусственной кожи и хрящевой ткани, образцы которых уже проходят первые клинические испытания в центрах трансплантации⁶⁴.

В ближайшее время будет возможна печать, например, бионических ушей и простых органов прямо возле постели пациента. В будущем станет реальностью печать тканей для имплантации, «заплаток» для сосудов или, например, тканей сердца и легких. В перспективе будет реализована техническая возможность полноценной печати новых органов целиком. Со временем также увеличится скорость печати нового органа/ткани. Если сейчас этот процесс занимает до 10 дней, то в ближайшее время возможно сокращение затраченного времени до 3 часов⁶⁵.

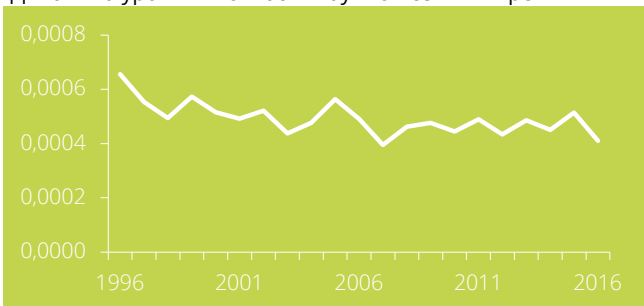
Динамика публикационной активности в мире



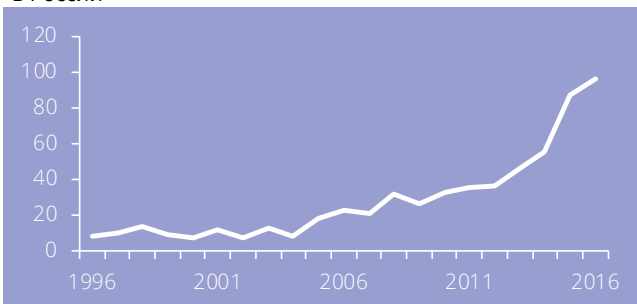
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



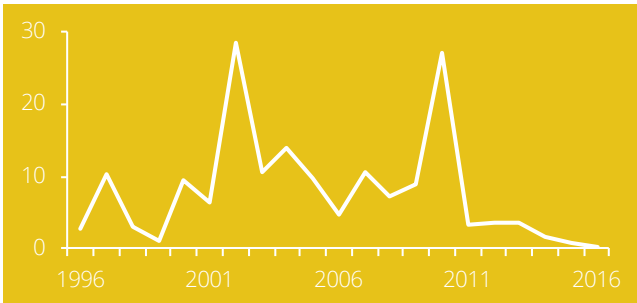
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 57 123 статей, представленных в Scopus (741 статья с ведущим российским автором). Динамика публикационной активности в последние годы снижается, а среднегодовой уровень цитируемости в мире падает. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления. Для России количество публикаций растет, среднегодовая цитируемость статей российских авторов сопоставима с общемировой.

⁶⁴Плетников М.В. Создание искусственных органов и тканей <http://evolution.powernet.ru/library/no8.htm> (Просмотрено 10.12.2016)

⁶⁵Mesko B. The Guide to the Future of Medicine: Bringing Disruptive Technologies to Medicine & Healthcare // The Medical Futurist. – 2013.

«Возникает возможность, используя донорский материал, делать органы в промышленных масштабах, что будет в десятки раз дешевле. Мне кажется, что это одно из самых перспективных направлений, потому что если можно будет заменять необратимо пораженные жизненно важные органы, то случится гигантский прогресс в медицине. Реально использование этих технологий начнется после 2025 года»

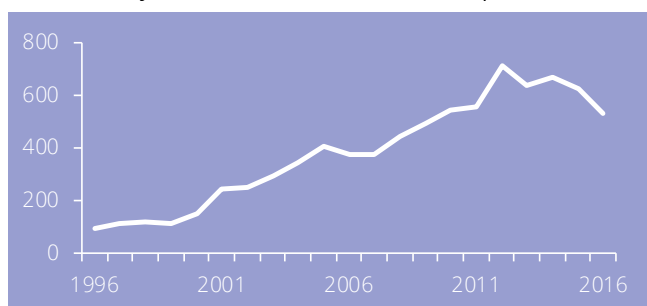
К.Н.Ярыгин, НИИ БМХ им. В.Н. Ореховича

Расшифровка механизмов формирования памяти

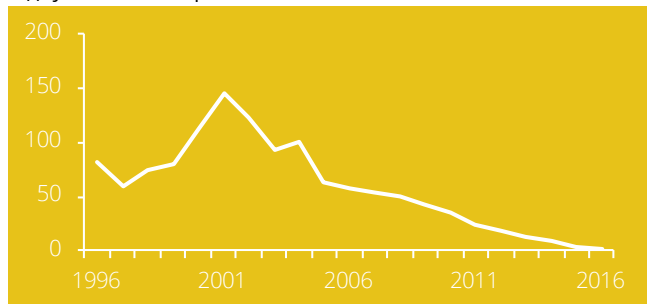
Процесс формирования и хранения памяти очень сложен и динамичен. Молекулярные механизмы хранения памяти на сегодняшний день практически неизвестны. Несколько теорий объясняют механизмы долговременной памяти с разных позиций: морфологические теории, глиальная теория, медиаторная теория, молекулярные теории.

Расшифровка механизмов памяти окажет влияние на лечение нейродегенеративных заболеваний, возможность восстанавливать память в сложных случаях амнезии, также позволит решить проблему потери памяти в процессе старения. Исследования памяти имеют значение и для здоровых людей: увеличение объемов рабочей и долговременной памяти способствует повышению производительности.

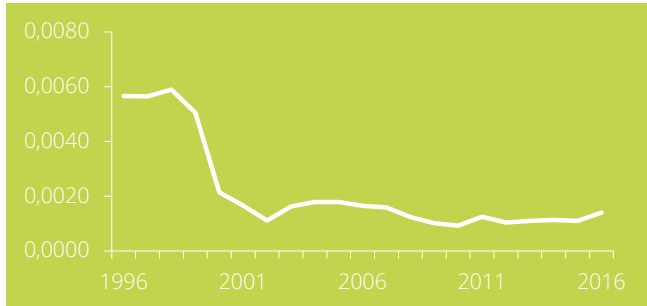
Динамика публикационной активности в мире



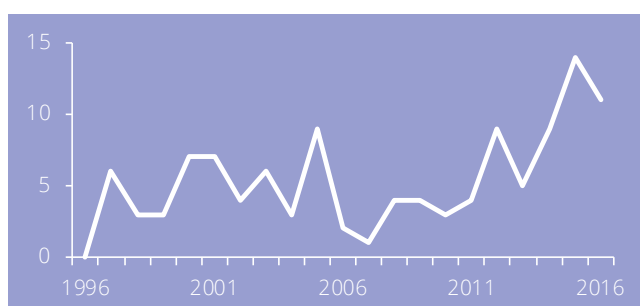
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



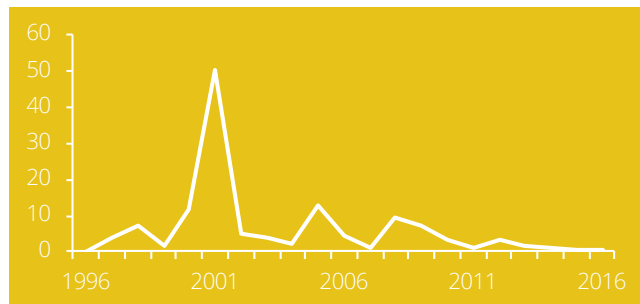
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 8 101 статьи, представленной в Scopus (115 статей с ведущим российским автором). Динамика публикационной активности снижается в последние годы, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления. В России интерес к научной теме нестабилен и невысок.

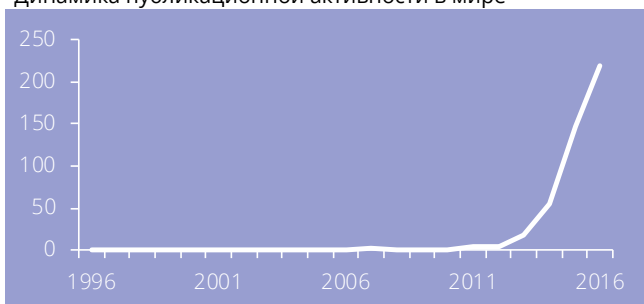
Нейрофотоника

Нейрофотоника развивается на стыке передовых лазерных технологий и современной нейробиологии. Здесь разрабатываются средства для функциональной диагностики мозга, стимуляции отдельных нейронов и их сетей, а также молекулярной инженерии клеток мозга с целью диагностики и терапии нейродегенеративных и психических заболеваний⁶⁶.

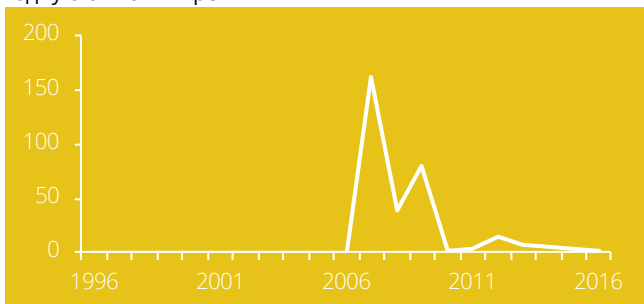
Нейрофотоника включает в себя как инвазивные техники (используемые в исследованиях на животных), так и неинвазивные методы, использующие ближнюю область спектра инфракрасного излучения, чтобы исследовать функциональную активность мозга. Среди них, например, быстрый оптический сигнал, диффузная корреляционная спектроскопия, функциональная спектроскопия в ближнем ИК-диапазоне⁶⁷.

Развитие нейрофотоники дает множество возможностей, например, в области создания протезов конечностей, способных чувствовать температуру и боль.

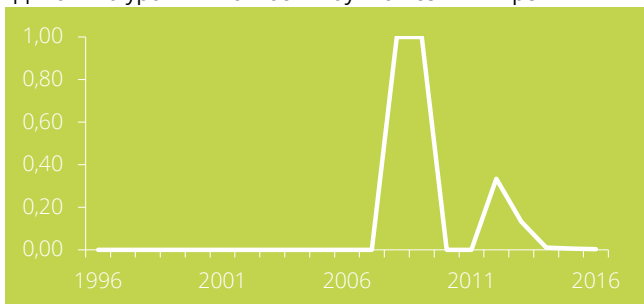
Динамика публикационной активности в мире



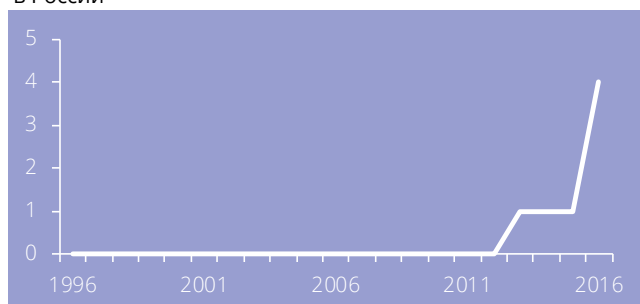
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



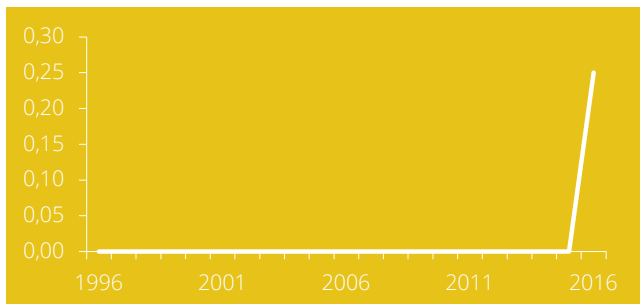
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 450 статей, представленных в Scopus (7 статей с ведущим российским автором). Динамика публикационной активности набирает рост, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления, но количество опубликованных статей не позволяет сделать окончательный вывод. В России тема еще не получила достаточного развития.

⁶⁶Дорони́на-Ами́тонова Л. В., Федотов И. В., Федотов А. Б., Анохин К. В., Жёлтиков А. М. Нейрофотоника: оптические методы исследования и управления мозгом // УФН, 185:4 (2015), 371–392

⁶⁷Torricelli A. et al. Neurophotonics: non-invasive optical techniques for monitoring brain functions // Funct Neurol. 2014 Oct-Dec;29(4):223-30.

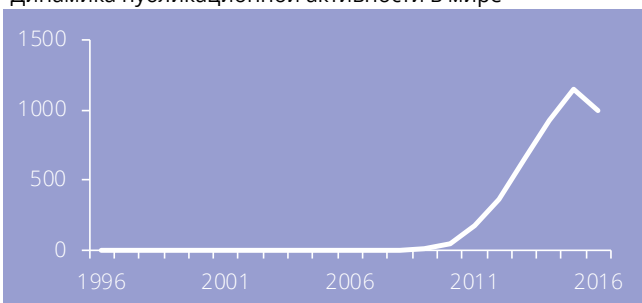
Оптогенетика

Оптогенетика – метод исследования возбудимых клеток, использующий белки, которые встраиваются в мембрану клетки и активируются светом. Такие белки (опсины) есть у большинства животных в сетчатке глаз, а также у некоторых растений, например у зеленых водорослей. Чтобы встроить фотоактивируемые протеины в мембраны нейронов, приходится привносить в нейроны гены родопсинов, полученные из других организмов.

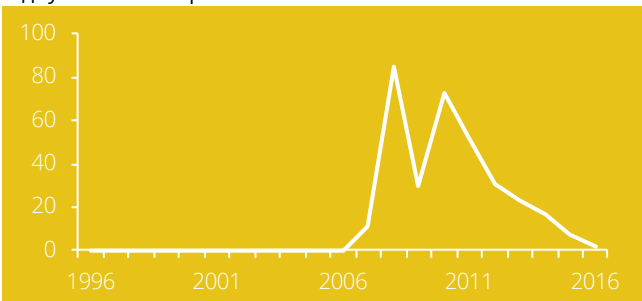
С помощью оптогенетики возможно изучение проблем поведения, работы сердца, состояний сна, различных психических заболеваний.

В теории оптогенетика может пролить свет на любые патологические состояния, связанные с возбудимыми клетками. Это не только наркомания и нарколепсия, депрессия и болезнь Паркинсона, но и шизофрения, инфаркты, тревожность, стрессовые расстройства и многое другое. Пока что возможность лечения этих состояний с помощью фотоактивируемых каналов – вопрос технологии и этики⁶⁸.

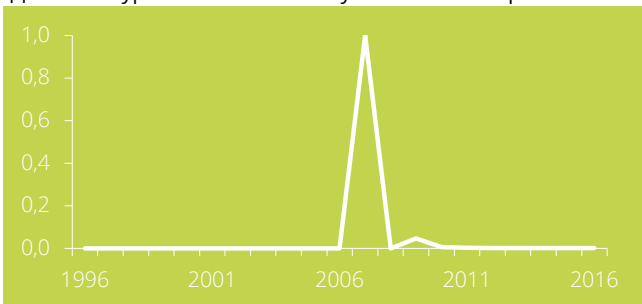
Динамика публикационной активности в мире



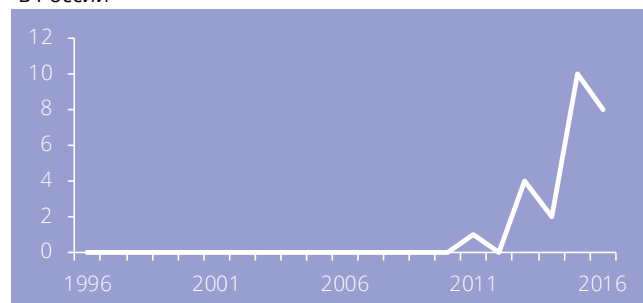
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



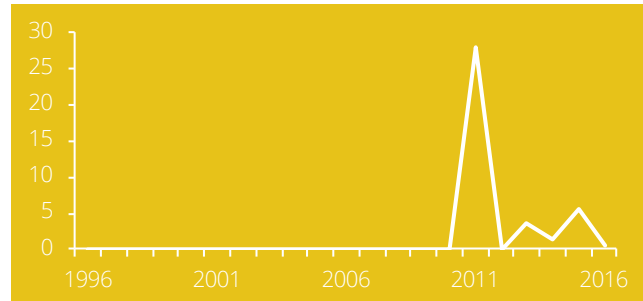
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 4326 статей (24 статьи с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Наблюдается резкий рост с 2006 г., однако сейчас уровень плотности коллабораций характерен для магистрального направления. Для России количество публикаций постепенно растет, однако динамика среднегодового уровня цитируемости еще не стабилизировалась.

⁶⁸Ястребова С. Оптогенетика. Как управлять нейроном с помощью света // «Элементы» http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/433205/Optogenetika_Kak_upravlyat_neyronom_s_pomoshchyu_sveta (Просмотрено: 23.11.2016)

В Е Р О Я Т Н Ы Е П Р О Р Ы В Ы

Использование искусственного интеллекта в медицине

По мнению многих экспертов, совсем скоро технологии искусственного интеллекта станут незаменимым и важнейшим элементом в отрасли здравоохранения. Уже сейчас машинный интеллект позволяет врачам существенно повысить точность проводимых диагностик, создавать сверхэффективные лекарственные препараты и значительно облегчать течение различных заболеваний у пациентов.

Достаточно перспективным вариантом применения искусственного интеллекта в отрасли здравоохранения является развитие персональных медицинских ассистентов. Такие ассистенты представляют собой обычные мобильные приложения, которые работают на основе машинного обучения. Они распознают голосовые и текстовые запросы пользователей и, проанализировав свою базу данных заболеваний, выдают различные рекомендации⁶⁹.

Тем не менее, такие решения смогут произвести революцию в медицине и здравоохранении только в том случае, если станут доступными среднему пользователю, а не только богатейшим медицинским учреждениям из-за их дороговизны и нескольким экспертам из-за того, что ими сложно пользоваться⁷⁰.

Чтение мыслей*

Чтение мыслей постепенно становится реальностью. Снимая показания с мозга человека, ученые научились извлекать слова из мыслей, воспроизводить звуки, которые хотел бы произнести человек, определять, что видит перед собой участник эксперимента. Основных методов, развивающих эти направления, два: электроэнцефалография и рентгеновская компьютерная томография.

В первом случае системы электродов позволяют регистрировать активность групп нейронов в разных отделах мозга. Некоторые из них могут быть настолько тонкими, что проникают внутрь клетки и позволяют записывать внутриклеточные потенциалы.

Во втором случае изображения, полученные с помощью ФМРТ, показывают, какие участки мозга и каким образом активированы при исполнении определенных заданий.

Томография, вживление сотен электродов, сверхчувствительные ЭЭГ-устройства, мощные компьютеры, способные анализировать и сопоставлять поступающую от них информацию, позволяют делать первые шаги в чтении мыслей уже сегодня⁷¹.

*При обсуждении перспектив развития биомедицины более широким кругом ученых, исследователи Института мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН высказали мнение о том, что это направление не может быть отнесено к прорывным.

⁶⁹Иванов А. Искусственный интеллект в медицине // [iot.ru Самая актуальная информация из мира Интернета вещей. https://iot.ru/meditsina/iskusstvennyy-intellekt-v-meditsine](https://iot.ru/meditsina/iskusstvennyy-intellekt-v-meditsine) (Просмотрено 22.10.2016)

⁷⁰Artificial Intelligence Will Redesign Healthcare // The Medical Futurist <http://medicalfuturist.com/artificial-intelligence-will-redesign-healthcare/> (Просмотрено 17.03.2017)

⁷¹Чтение мыслей — история и технология прорыва // [sci-fact.ru http://sci-fact.ru/1-human-fact/chtenie-myslej-istoriya-i-technologie.html](http://sci-fact.ru/1-human-fact/chtenie-myslej-istoriya-i-technologie.html) (Просмотрено: 03.12.2016)

К Л Ю Ч Е В Ы Е П Р О Р Ы В Ы

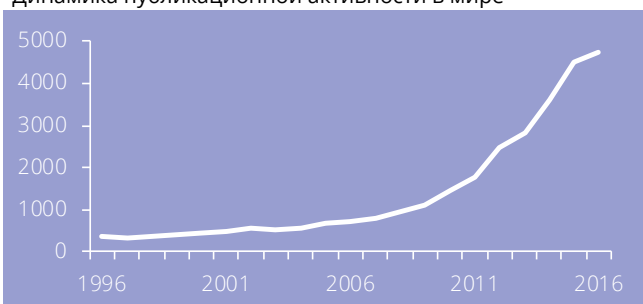
Молекулярная онкология

Существует два основных прикладных направления в рамках молекулярной онкологии:

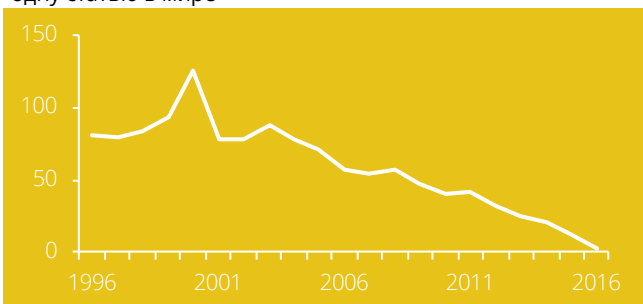
1. использование генетических тестов для предсказания риска рака и консультирования пациентов;
2. использование знания о молекулярном «составе» различных видов опухолей для диагностики и предсказания ответа на конкретные виды лечения⁷².

Исследования в сфере молекулярной онкологии будут способствовать развитию лабораторных методов выявления групп онкологического риска, поиску диагностических и прогностических маркеров новообразований, разработке патогенетически обоснованных подходов к химиопрофилактике и химиотерапии неоплазм и, наконец, помогать в генотерапии рака⁷³.

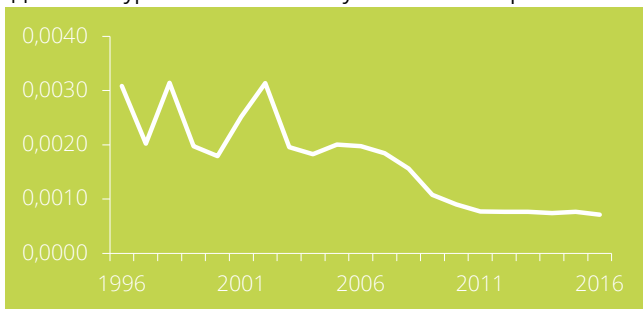
Динамика публикационной активности в мире



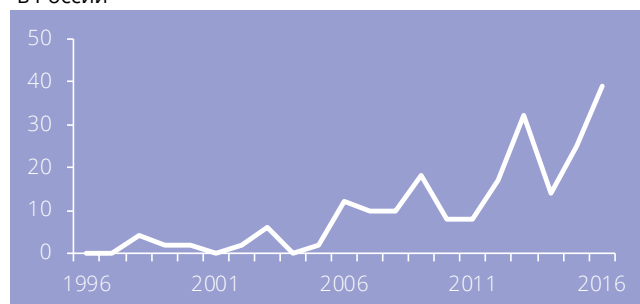
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



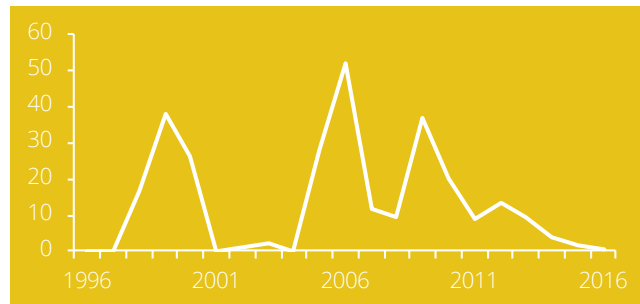
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 29 734 статей (228 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Научная тема обладает положительной динамикой публикационной активности, но среднегодовой уровень цитируемости падает. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления – вероятен переход в зрелую науку. Для России количество публикаций растет, однако снижается средняя цитируемость российских публикаций.

⁷²Molecular Oncology // Cancer care Ontario | Action cancer Ontario https://www.cancercare.on.ca/ocs/clinicalprogs/pathnlabmed/molecular_oncology/ (Просмотрено 28.10.2016)

⁷³Имянитов Е.Н., Хансон К.П. Молекулярная онкология: клинические аспекты. СПб.: СПбМАПО, 2007. 211 с.

«Исследователи продолжают искать механизм развития опухолей и их взаимодействия с организмом, появляются новые препараты, и эта область исследований – одна из наиболее перспективных, область, в которой много вызовов»

С.А. Лукьянов, ИБХ РАН

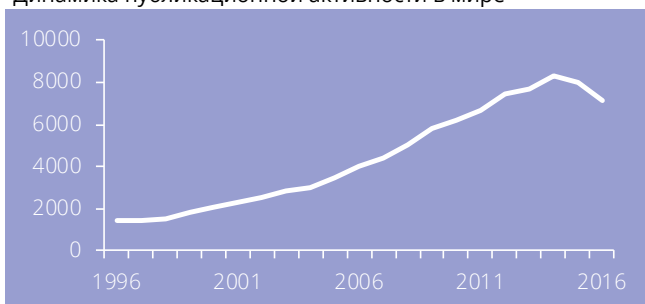
КАНДИДАТНЫЕ ПРОРЫВЫ

Вакцины против ВИЧ/СПИД и против других «медленных» инфекций

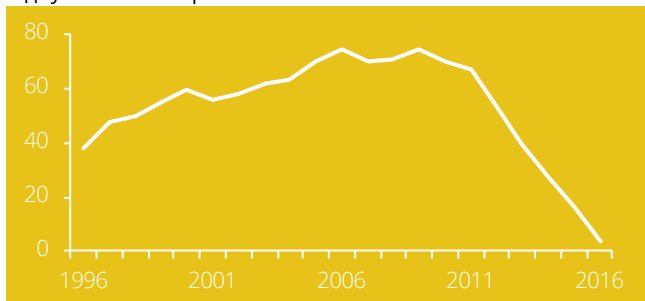
Разработка безопасной, эффективной и доступной вакцины позволит надеяться на возможность контроля и даже прекращения распространения ВИЧ/СПИДа. Основной целью является разработка профилактической вакцины, хотя бы даже частичного действия, чтобы предотвратить распространение вируса, но терапевтические вакцины от СПИДа также могут помочь многим миллионам людей⁷⁴.

Новая эпоха в разработке вакцины началась с появления инструмента редактирования генома, поскольку эта техника позволяет нацеливаться непосредственно на ДНК вируса. «Ножницы» Cas9 направляются непосредственно на геном ВИЧ, чтобы уничтожить его и убрать из иммунной клетки⁷⁵.

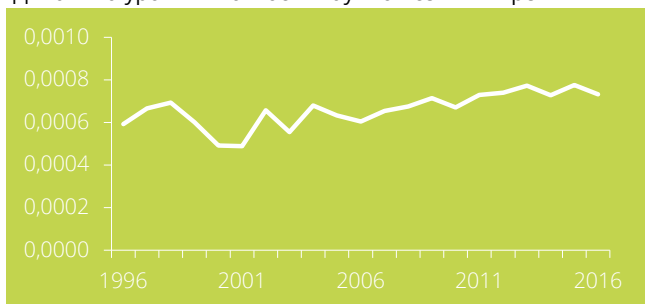
Динамика публикационной активности в мире



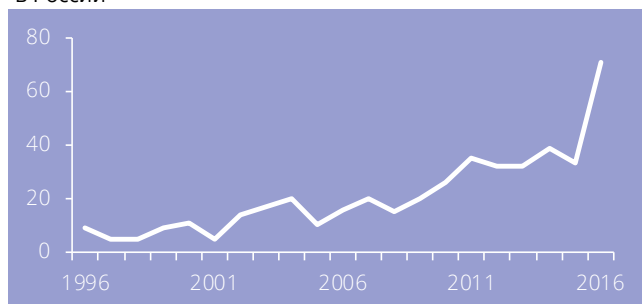
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



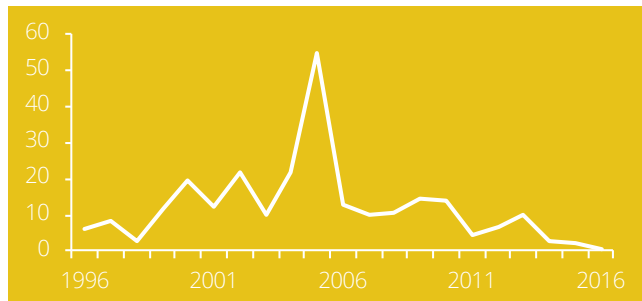
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 93 100 статей (655 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности снижается в последние годы, а среднегодовой уровень цитируемости падает. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления. Для России количество публикаций растет, однако снижается средняя цитируемость российских публикаций.

⁷⁴VACCINES // Secretary's Minority AIDS Initiative Fund (SMAIF) <https://www.aids.gov/hiv-aids-basics/prevention/prevention-research/vaccines/> (Просмотрено 13.10.2016)

⁷⁵The Incredible New Advances in the Fight Against HIV/AIDS // Time Inc. <http://fortune.com/2016/07/21/hiv-aids-cure-vaccine/> (Просмотрено 13.10.2016)

Андрей Петрович КОЗЛОВ

Директор ЧНИУ «Биомедицинский центр»

Руководитель лаборатории молекулярной онкологии
и вирусологии

Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого



Какие научные открытия недавно произошли в биомедицине?

Мы работаем в двух областях – в области СПИДа и рака, и очень успешно. Единственная вакцина в России, которая прошла вторую фазу клинических испытаний, – эта наша вакцина.

В области СПИДа с переменным успехом идет борьба с эпидемиями. Сейчас все активно работают над вакциной. В случае СПИДа недостаточно просто взять вирус и ослабить его – для медленных инфекций и хронических заболеваний мы только сейчас начинаем понимать, какие будут вакцины. Что касается рака, то начинают внедряться методы иммунотерапии, а не химиотерапии опухолей. Сейчас появились checkpoint inhibitors – это ингибиторы, часто из антител, которые используются для «атаки» иммунной системы на раковые клетки. Это направление очень перспективно.

Какие нестандартные научные теории и концепции имеются в этой области?

Одна из самых нестандартных концепций – это явление «генетического бутылочного горлышка» при заражении вирусом СПИДа. Оказалось, что в большинстве случаев инфекция вызывается одной-единственной вирусной частицей. Если говорить о раке, новых теорий нет уже около 50 лет. В этом состоит основная причина того, что рак еще не побежден. Основные выдающиеся теории, которыми мы пользуемся, – это теория онкогена и теория стволовых раковых клеток. Им уже 50 лет.

Какие Вы видите прорывные направления и сценарии развития биомедицины на ближайшие годы?

Ориентировочно в 2030-е гг. появится вакцина от СПИДа, но непонятно, какая раньше – профилактическая или терапевтическая для полного излечения, потому что на данный момент доступно только хроническое лечение. Даже если она не будет на 100% эффективной, есть комбинированная профилактика: поведенческая, политическая, лекарственная, вакцинация – благодаря которым достигается 100%-ная защита.

В области онкологии смена парадигмы связана с представлением об опухолевом равновесии. Дело в том, что есть спящие опухоли, есть пограничные опухоли и целый перечень незлокачественных опухолей – например, эмбриональные. Их природа вообще не ясна – мы пока изучаем только злокачественные, поскольку они представляют большой интерес. В этом направлении ожидается наибольший прогресс – в том, как удержать опухоли в равновесии, радикально от них не избавляясь, потому что это не помогает.

В чем вы видите наиболее важные для России направления?

Наибольшую опасность для страны представляет эпидемия СПИДа. В этой области наука вся разрушена, ее просто нет. На днях у нас была принята концепция борьбы со СПИДом, куда забыли вписать пункт о создании вакцины. Получается, что СПИД – проблема, борются с ней практики, а науки там вообще нет. Специалисты спорят о том, сколько у нас ВИЧ-инфицированных – 600 тыс. или 1 млн. Какая разница? Мы лечим только 150–200 тыс., и стоит это 20 млрд, которые тратятся только на импортные лекарства. Мы никогда не сможем закупать лекарства от СПИДа на 100–150 млрд. Значит, нам надо делать вакцины. Это уже научно-политическая борьба.

Я считаю, что нужно менять систему финансирования науки, и финансировать нужно прорывные направления. Сейчас неприлично делать прорывы, у нас пропала установка на открытия, что неправильно. Еще одна особенность – отсутствие научной полемики. Да, у нас есть проблемы. У нас нет открытий, исчезают научные семинары. Отечественная биомедицина – почти вся вторична.

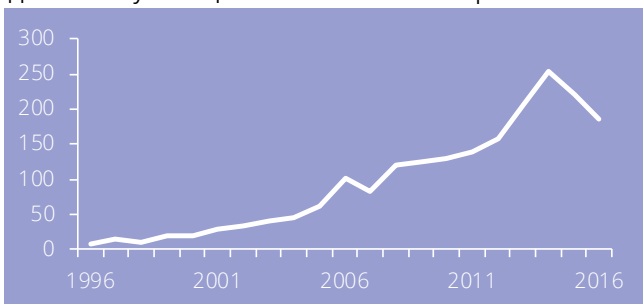
Генная терапия патологий мозга

Генная терапия предполагает лечение заболеваний путем введения генов в клетки пациентов с целью направленного изменения генных дефектов или придания клеткам новых функций⁷⁶. Такую процедуру можно проделать, например, при помощи специально сконструированного вируса.

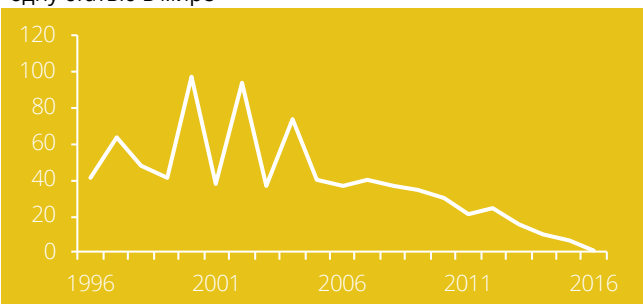
Сегодня уже идет разработка видов генной терапии для болезни Паркинсона, бокового амиотрофического склероза, болезни Хантингтона,

спинальной мышечной атрофии, болезни Альцгеймера, атаксии Фридрейха и болевого синдрома. В большинстве случаев препараты пока проходят доклинические испытания. По данным Альянса регенеративной медицины, сейчас неврология занимает четвертое место по числу проводимых испытаний генной терапии после онкологии, кардиологии и инфекционных болезней⁷⁷.

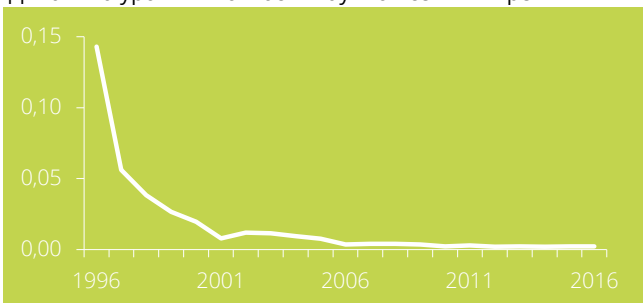
Динамика публикационной активности в мире



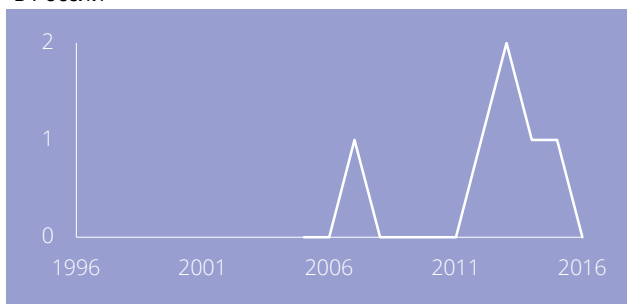
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



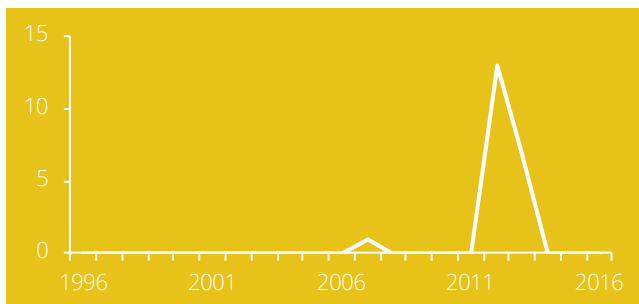
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 2003 статей (6 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Научная тема обладает отрицательной динамикой публикационной активности и среднегодового уровня среднегодовой цитируемости. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления, но количество опубликованных статей пока не позволяет сделать окончательный вывод. Для России количество публикаций нестабильно, средняя цитируемость российских публикаций мала, что указывает на то, что работы российских ученых в данной теме не полностью соответствуют мировой повестке.

⁷⁶Муртазин А. Генная терапия, или как загнать ДНК в клетку и вылечить этим пациентов // MEDACH <http://medach.pro/life-sciences/genetika/gene-therapy/> (Просмотрено 06.12.2016)

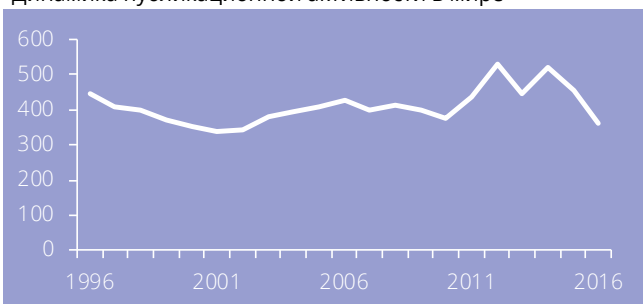
⁷⁷Лищук О. Генная терапия восстановит эффективность лечения болезни Паркинсона // N+1 Интернет-издание <https://nplus1.ru/news/2016/08/22/parkingene> (Просмотрено: 01.11.2016)

Биология поведения

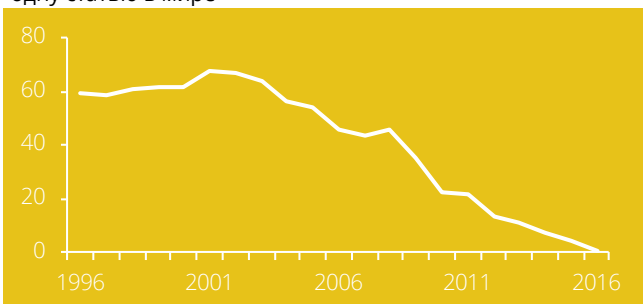
Взаимодействие между поведением и биологическими процессами идет в обоих направлениях. С одной стороны, биологические процессы влияют на поведение. Например, психофармакология продемонстрировала важность нейрхимических веществ в мозге человека, а социобиология отмечает влияние генетических факторов на поведение. С другой стороны, поведение также воздействует на биологические процессы. Восприятие и реакции отдельного человека на события его жизни могут существенно влиять на гормональные и физиологические функции. Признавая это взаимодействие, биология поведения как область знания носит междисциплинарный характер, объединяя целый ряд подходов⁷⁸. Биология поведения пытается понять происхождение, эволюцию, разнообразие

поведения, то, каким образом это разнообразие связано с адаптивностью поведения (т.е. как оно соответствует окружающей среде) и т.д. Первоначально это научное направление специализировалось на животных. Однако сейчас уделяется большое внимание и поведению человека. Уже есть исследования биологических основ морали, чувства справедливости, альтруизма. В основе объяснения поведения сегодня лежат разные теории, опирающиеся на гормональные и психофизиологические механизмы, функции, процесс эволюции и его факторы и т.д. Однако полного, непротиворечивого и объективного понимания того, почему человек в различных условиях ведет себя так, а не иначе, исследователи до сих пор не достигли.

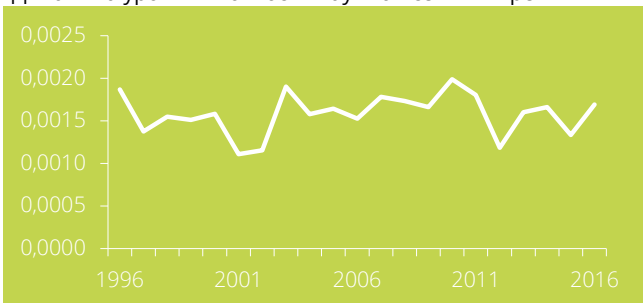
Динамика публикационной активности в мире



Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



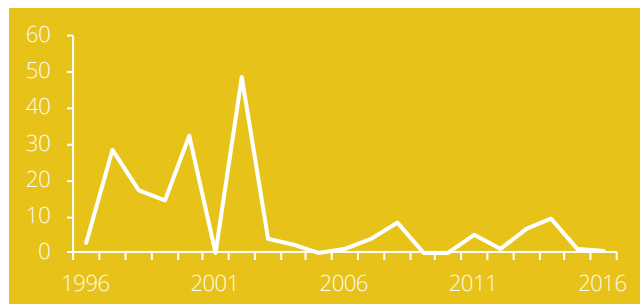
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 8 610 статей (56 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Научная тема обладает отрицательной динамикой публикационной активности и среднегодового уровня цитируемости. Динамика уровня плотности научной сети между научными подразделениями нестабильна. Тематика стремится к магистральному направлению в нашей модели научной карты. Для России количество публикаций нестабильно, однако некоторые статьи имеют достаточно высокий уровень цитируемости.

⁷⁸About // Johns Hopkins University <http://krieger.jhu.edu/behavioralbiology/about/> (Просмотрено 06.12.2016)

«Понять, почему люди себя ведут так или иначе в условиях, например, социальных потрясений, где материальный субстрат, – важнее, чем лечить больных»

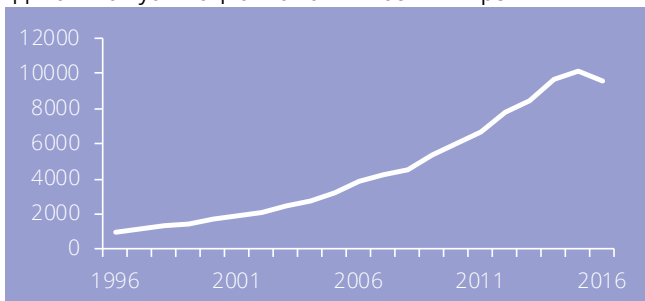
Е.Н. Имянитов, НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова

Управление когнитивными функциями человека

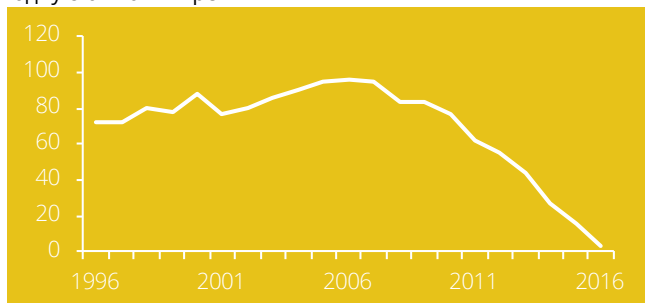
К когнитивным функциям человека относятся: память, внимание, психомоторная координация, речь, гнозис, праксис, счет, мышление, ориентация, планирование. На них может влиять широчайший спектр факторов: от количества и качества сна до ожирения. Однако возможность целенаправленного контроля когнитивных функций открывает ряд перспектив

как в сфере лечения нейродегенеративных заболеваний, так и, например, в отношении возможностей увеличивать интеллектуальную производительность здоровых людей. Особую роль для этого научного направления может сыграть оптогенетика в комбинации с различными методами нейровизуализации.

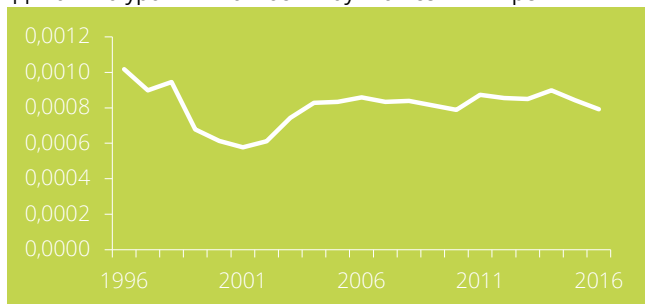
Динамика публикационной активности в мире



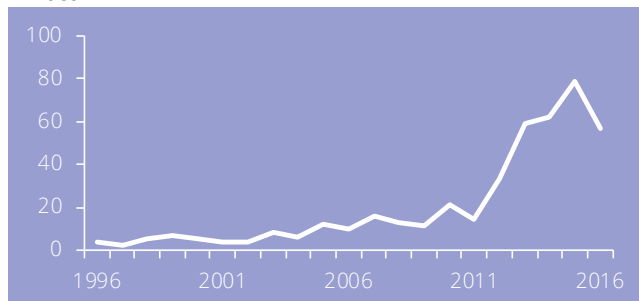
Динамика среднегодового уровня цитируемости в расчете на одну статью в мире



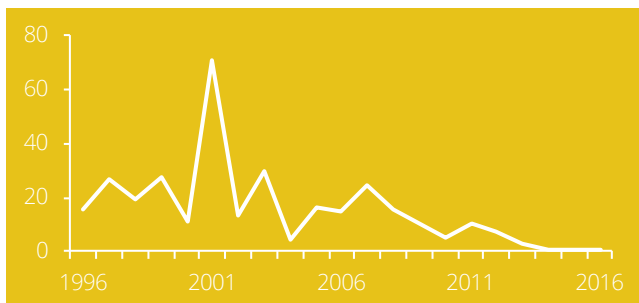
Динамика уровня плотности научной сети в мире



в России



в России



Графики выполнены ЦСР «Северо-Запад» на основе данных 95 467 статей (548 статей с ведущим российским автором), представленных в Scopus. Динамика публикационной активности начинает снижаться, а среднегодовой уровень цитируемости в мире падает. Уровень плотности научной сети характерен для магистрального направления. Для России количество публикаций также начинает снижаться, а среднегодовой уровень цитируемости нестабилен и обладает отрицательной динамикой.

«Все ближе современные достижения науки и техники подходят к интеграции технических устройств в мозг человека, все больше разработок, которые позволяют дистанционно и неинвазивно снимать сигналы активности с мозга. Можно управлять роботизированными устройствами, такими как экзоскелеты, даже при полной потере подвижности конечностей, можно дистанционно ликвидировать чрезвычайные ситуации, без вреда для работников служб быстрого реагирования, можно спокойно управлять автомобилем не используя моторные функции тела. Принципиальным является момент перехода на устройства, которые не только смогут снимать сигнал нейронов головного мозга, но и сами воздействовать на их активность и это тоже область исследования нейронаук. Какая разница, в чьих руках самое передовое оружие, если можно изменить поведение человека способного «нажать на кнопку». Никто не знает, насколько близко мы стоим к этой грани, но очень многие ученые, политики, религиозные деятели высказывают опасения по данному вопросу»

М.В. Ведунова, ННГУ им. Н.Н. Лобачевского

ФАНТАСТИКА

Органы для человека из химерных ЖИВОТНЫХ

Работы по созданию химер с человеческими клетками начались около 15 лет назад. «Химеры» представляют собой организмы из генетически разнородных клеток. Создание химерных организмов с человеческими клетками могло бы позволить не только проводить доклинические исследования лекарств, но и выращивать неотторгаемые органы для трансплантации. Изучение эмбрионов-химер также позволит получить новые сведения о ранних стадиях развития человеческих зародышей. Ученые создают химеру с помощью инъекции человеческих индуцированных плюрипотентных стволовых клеток в подготовленный зародыш животного для того, чтобы впоследствии, когда зародыш превратится во взрослое животное, в его теле присутствовали органы, состоящие исключительно из человеческих клеток⁷⁹.

Учитывая результаты последних исследований, перспективы ксенотрансплантации, то есть трансплантации органов и тканей от организма одного биологического вида в организм другого биологического вида, пока остаются весьма отдаленными⁸⁰.

Такая трансплантация также вызывает много этических вопросов.

Искусственный разум, аналогичный человеческому

Для науки имеет огромное значение воспроизведение возможностей человеческого мозга в компьютерных системах. Помимо уникальных вычислительных возможностей мозга человека, которые можно будет применить в информационных технологиях, это имеет большое значение для протезирования и лечения неврологических заболеваний.

Общая цель исследований в этой области заключается в воспроизведении трех ключевых характеристик человеческого мозга: низкое энергопотребление (человеческий мозг использует меньше энергии, чем, скажем, обычный компьютер, но выполняет сложные задачи); устойчивость к ошибкам (мозг, потерявший часть нейронов, может оставаться в рабочем состоянии, в то время как на микропроцессоры влияет потеря даже одного транзистора); отсутствие необходимости в программировании (в отличие от компьютеров, мозг способен учиться и отвечать спонтанно на сигналы среды)⁸¹.

Некоторые из современных технических систем уже способны воспроизводить работу синапсов, более или менее точно симулировать работу нейронов.

⁷⁹Долотовская С. Ученые вырастили химерные свиные эмбрионы с человеческими клетками // N+1 Интернет-издание <https://nplus1.ru/news/2017/01/27/chimera> (Просмотрено 17.01.2017)

⁸⁰Американские ученые создают химер, чтобы спасти людей // Nanonewsnet.ru <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/amerikanskije-uchenye-sozdayut-khimer-chtoby-spatat-lyudei> (Просмотрено 17.01.2017)

⁸¹Neuromorphic computers: what will they change? // Geneva Centre for Security Policy <http://www.gcsp.ch/News-Knowledge/Global-insight/Neuromorphic-Computers-What-will-they-Change> (Просмотрено 28.09.2016)

Виктор Борисович КАЗАНЦЕВ

Заведующий кафедрой нейротехнологий
Института биологии и биомедицины
Проректор по научной работе
Нижегородского государственного университета
им. Н.И. Лобачевского



Какие Вы видите прорывные направления и сценарии развития биомедицины на ближайшие годы?

Крупный пласт – возможности информационной и телемедицины, использование вычислительных средств и суперкомпьютерных расчетов для онлайн-диагностики пациентов еще на стадии предрасположенности к заболеванию. Здесь существует несколько проблем: (1) сделать датчики и сенсоры носимыми, чтобы они работали незаметно для человека; (2) развивать технологии обработки больших данных, системы машинного обучения; (3) транслировать все это в медицинскую практику, чтобы доктор в реальном времени отслеживал состояние пациента.

Мы занимаемся техниками реабилитации: нейроинтерфейсы, «электронная кожа», биокостюмы – системами, с помощью которых можно управлять протезами или экзоскелетом. Другой, более биологический тренд связан с клеточными и молекулярными технологиями. Клетки генетически программируются, и в определенных случаях после травмы можно регенерировать не просто ткань, но и орган или конечность. Можно будет говорить о регенерации целых органов и систем организма. Думаю, что в перспективе 10–20 лет это будет возможно, исключая, конечно, мозг, в рамках развития регенеративной и персонифицированной медицины. Современные вычислительные возможности определяют другое направление – разработку персональных ассистентов, которые работают с данными о вашем состоянии: давление, пульс, мышечная активность, сахар в крови и т.д., определяя, например, предпосылки к патологии. Кроме того, мы совершенно забываем про круг проблем, которые на первый взгляд с медициной не связаны: глобальные изменения климата и экология. Об электромагнитных загрязнениях

мы вообще ничего не знаем. Есть только норма – не более 20 дБм (0.1Вт), а как это действует на вас в данной точке земного шара и с данным состоянием вашего организма? Можно ли вам ходить в торговый центр, где у всех мобильные телефоны и уровень излучения будет превышать критический? Но представьте, что есть носимые датчики, которые анализируют уровень радиации, уровень химических загрязнений, и дают вам прогноз магнитных бурь в месте, где вы находитесь. Такого рода вещи сейчас упускаются в российских стратегиях развития медицины, либо упоминаются поверхностно. А, например, в США планируется целая программа персональной электромагнитной экологии.

С какими проблемами столкнутся научный мир и общество? К каким последствиям это приведет?

Улучшение качества жизни и развитие современной медицины приведут к тому, что люди начнут жить дольше, соответственно, будут превалировать заболевания, до которых человечество не доживало. Это болезнь Альцгеймера, патологии головного мозга; также в зрелом возрасте повышается вероятность онкологических заболеваний. Нужно понять, как лечить новые заболевания. Кроме того, с увеличением продолжительности жизни увеличивается репродуктивный возраст человека – возникает вероятность генетических мутаций. Также возникает проблема социальной адаптации людей преклонного возраста: как улучшить качество жизни, чтобы человек мог себя обслуживать и был адаптирован к социальной среде.

Какие научные направления и подходы постепенно изживают себя?

Нельзя сказать, что что-то отмирает – скорее все живо, но с переносом акцентов. На первый план выходит синтез знаний, т.е. наука как синтез знаний (конвергенция) – именно синтетические знания дадут нам новое качество жизни, науки и технологий.

Акцент науки переносится в область биомедицинских технологий, конкретнее – в область технологий, направленных на улучшение жизни человека, не когда-то, а в обозримом будущем.

Я бы ответил на этот вопрос с точки зрения смены технологических укладов, когда путь от идеи до вещи становится короче. На первый план выходит дизайнер: ученый подает идею, дизайнер предлагает проект ее реализации, далее отправляет ее в облачные сервисы, где дизайн имплементируют в прототип, и прототип возвращается разработчику. Это будет гораздо быстрее, чем провести полный цикл в старых технологических укладах.

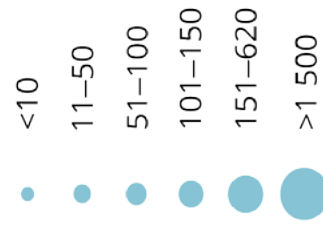
Какие нестандартные научные теории и концепции имеются в этой области?

Фантастичная теория – считывать информацию с мозга человека, память. Думаю, что подобные проекты даже в перспективе 10–20 лет маловероятны. Фундаментальной науке пока не известно, что такое память, поэтому нет инструментов, чтобы ею манипулировать. Но технологии исследования мозга и воздействия на мозг нужно поставить в класс приоритетных – это важно для долголетия человека, технической реализации опыта отдельных людей.

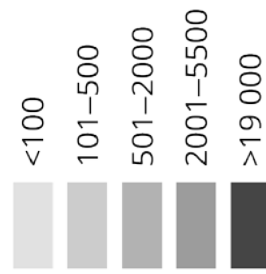
Соотношение количества публикаций и объема конкурсного финансирования по системе государственных фондов по прорывным направлениям биомедицины



Количество статей, опубликованных в Scopus за период 2007–2016 гг.



Объем конкурсного финансирования по системе государственных фондов за период 2007–2016 гг., млн. руб.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным Scopus, Экспир
Карта России по материалам OSM

ОБЗОР ПОЛИТИК В ОБЛАСТИ БИОМЕДИЦИНЫ

Институты

Всемирная организация здравоохранения

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) поддерживает проведение научных исследований в области здравоохранения, которые направлены на следующие основные цели:

- потенциал – создание потенциала для укрепления систем научных исследований в целях здравоохранения;
- приоритеты – поддержка в установлении приоритетов в области научных исследований, отвечающих потребностям здравоохранения, особенно в странах с низким и средним уровнем дохода;
- стандарты – создание окружающих условий для разработки надлежащей практики научных исследований и предоставление возможностей для более широкого обмена данными исследований, методиками и материалами;
- преобразование – обеспечение преобразования качественных данных в продукцию и политику⁸².

Кроме того, в рамках ВОЗ действуют Программа доступа к исследованиям в области здравоохранения Hinar и Международная платформа для регистрации клинических испытаний. Отдельно под эгидой ВОЗ действует Международное агентство исследования рака (The International Agency for Research on Cancer (IARC).

Европейский Союз

В рамках Программы ЕС Horizon 2020 существует Экспертная группа по здоровью (The Scientific Panel for Health (SPH)), призванная учесть мнения стейкхолдеров биомедицины в этой программе. Три основных роли панели:

- анализ и внесение предложений по решению проблем, не позволяющих вносить улучшения в здравоохранение;
- определение долгосрочных трендов, влияющих на здравоохранение через форсайт, и рекомендации в области исследовательских приоритетов;
- содействие внедрению результатов исследований в практику⁸³.

В качестве дополнительной формы поддержки биомедицинских исследований Евросоюз избрал создание сети центров Instruct (Integrated Structural Biology Infrastructure). Цель сети – обеспечить доступ всех европейских граждан к передовому оборудованию, технологиям и ведущим ученым.

США

В США развитием биомедицинских исследований занимаются Национальные институты здоровья (The National Institutes of Health (NIH)), спонсирующие большое количество исследовательских программ по различным направлениям. Институты ставят перед собой следующие цели:

- стимулировать фундаментальные открытия, инновационные исследовательские стратегии как основу для защиты и улучшения здоровья населения;
- развивать, поддерживать и обновлять научные человеческие и инфраструктурные ресурсы, гарантирующие способности государства предотвращать болезни;
- расширять базу знаний в медицинских и смежных областях с тем, чтобы обеспечить экономическое благополучие и высокий уровень возврата общественных инвестиций в исследования;
- воплощать высокий уровень научной интеграции, публичной подотчетности и социальной ответственности в науке⁸⁴.

В Великобритании существуют Медицинский исследовательский совет (Medical Research Council (MRC)) и Исследовательский совет по биотехнологиям и биологическим наукам, активно продвигающий биомедицинскую тематику (The Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC)).

Медицинский исследовательский совет определил свою миссию так: поддержка исследований, содействие появлению квалифицированных исследователей, распространение знаний, способных улучшить качество жизни людей, и развитие диалога с обществом о медицинских исследованиях.

Приоритеты Совета по биотехнологиям и биологическим наукам:

- генерация новых знаний о биологических механизмах развития и поддержании здоровья в течение жизни;
- расширение доступа к использованию ресурсов и данных из когортных исследований, биобанков и лонгитюдного мониторинга для ускорения перехода исследований от модельных организмов и систем к людям;
- улучшение понимания того, как питание влияет на здоровье на протяжении жизни, включая реакцию на диету, эпигенетику и механизмы функционирования кишечника;

⁸²Научные исследования // ВОЗ <http://www.who.int/topics/research/ru/> (Просмотрено 07.12.2016)

⁸³Scientific Panel for Health (SPH) // European Commission <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/scientific-panel-health-sph> (Просмотрено 07.12.2016)

⁸⁴Mission and Goals // National Institutes of Health <https://www.nih.gov/about-nih/what-we-do/mission-goals> (Просмотрено 07.12.2016)

- генерация новых знаний для прогресса в сфере генеративной биологии, включая исследования стволовых клеток и тканевой инженерии, прикладное использование;
- программы по улучшению здоровья и благополучия, включая гарантию влияния результатов на качество жизни;
- развитие и применение новых инструментов в таких сферах, как биохимия, структурный анализ высокого разрешения, омики, биомаркеры и стимулирование их перехода в и биоимиджинг, компаративная гномика и моделирование;
- поддержка фундаментальных исследований, требующих коллаборации между ветеринарной и человеческой медициной;
- продвижение новых путей работы, способных ускорить трансляцию результата исследований на пользу для здоровья населения на всех этапах жизни⁸⁵.

Канада

Канадский Институт исследований здоровья реализует ряд «знаковых» инициатив, посвященных следующим тематикам:

- стратегия пациент-ориентированных исследований;
- канадский консорциум исследований эпигенетики, окружающей среды и здоровья;
- первичное здравоохранение в местных сообществах;
- обновление здравоохранения на основе доказательности и информированности;
- воспаления при хронических заболеваниях;
- исследовательская стратегия в отношении деменции;
- пути для формирования равенства аборигенного населения в сфере здоровья;
- персонализированная медицина;
- окружающая среда и здоровье;
- здоровый и продуктивный труд⁸⁶.

Геномика как часть биомедицины также получила развитие в Канаде: Genome Canada является некоммерческой организацией, полностью спонсируемой правительством Канады для стимулирования развития и применения геномных технологий, в том числе в медицине.

Австралия

В Австралии создан специальный Национальный фонд исследований в сфере здоровья и медицины. Деятельность Фонда разворачивается вокруг трех основных элементов:

- инвестирование в исследования высокого качества и формирование исследовательского потенциала, поддержка лучших исследований и исследователей;

⁸⁵Strategic Plan: Strategic research priority 3 – bioscience for health // BBSRC <http://www.bbsrc.ac.uk/news/planning/strategy/priority-three/> Просмотровено 07.12.2016

⁸⁶Signature initiatives // Canadian Institutes of Health Research <http://www.cihr-irsc.gc.ca/e/43567.html> Просмотровено 07.12.2016

⁸⁷Strategy for health and medical research // NHMRC <https://www.nhmrc.gov.au/about/nhmrcs-mission-and-functions/nhmrc-strategic-direction> Просмотровено 07.12.2016

⁸⁸About AMED // Japan Agency for Medical Research and Development <http://www.amed.go.jp/en/aboutus/> Просмотровено 07.12.2016

⁸⁹Pooling research to tackle common diseases // Federal Ministry of Education and Research <https://www.bmbf.de/en/pooling-research-to-tackle-common-diseases-2592.html> Просмотровено 07.12.2016

- поддержка трансляции исследований в клиническую практику, системы здравоохранения и принятия решений, а также эффективной коммерциализации открытий;

- поддержка целостной рамки исследований, разработка руководящих принципов для наиболее тщательных исследований для обеспечения поощрения доверия общества⁸⁷.

Япония

В Японии действует отдельное Агентство медицинских исследований и разработок (Japan Agency for Medical Research and Development (AMED)), которое формирует и поддерживает среду и предоставляет финансирование для соответствующих исследований. Агентство консолидирует бюджет по принципу «одного окна» из разных источников: Министерства образования, культуры, спорта, науки и технологий, Министерства здоровья, труда и благополучия, Министерства экономики, торговли и промышленности. Агентство реализует девять основных проектов:

- открытие и разработка лекарств;
- разработка медицинских устройств;
- ключевые центры трансляционных и клинических исследований;
- регенеративная медицина;
- геномная медицина;
- исследования рака;
- психиатрические и неврологические расстройства;
- новые и вновь возникающие инфекционные заболевания;
- редкие хронические заболевания⁸⁸.

Германия

В Германии под эгидой Федерального министерства науки и образования действует 6 центров исследований в сфере здравоохранения:

- Онкологический консорциум;
- Центр исследований диабета;
- Центр исследования сердечно-сосудистых заболеваний;
- Центр исследований инфекций;
- Центр исследований легких;
- Центр нейродегенеративных заболеваний⁸⁹.

Одна из основных целей центров – наиболее быстрая и эффективная трансляция результатов исследований в практику. Кроме того, министерство имеет отдельный план действий по персонализированной медицине и в области ежедневного ухода за больными и пожилыми людьми (в эту сферу вложат 50 млн евро до 2018 г.).

Можно также отметить два крупных частных фонда, финансирующих и продвигающих биомедицинские

исследования: Доверительный фонд Уэлкома (Wellcome Trust, Великобритания) и Фонд Билла и Мелинды Гейтсов (Bill & Melinda Gates Foundation, США). Первый поддерживает биомедицинские исследования в таких сферах как генетика, геномика, молекулярная и клеточная биология, инфекционные заболевания и иммунная система, физиология, психическое здоровье⁹⁰. Фонд Билла и Мелинды Гейтсов сосредотачивает свои усилия на вопросах разработки новых вакцин и лекарств, здоровья матерей и детей, а также на возможностях контроля насекомых-переносчиков заболеваний⁹¹.

Таким образом, можно видеть, что во многих развитых странах поддержка биомедицинских исследований носит целенаправленный характер и в высокой степени институционализована.

Стратегии

Всемирная организация здравоохранения

Стратегия исследований ВОЗ в области здравоохранения, созданная в 2012 году, предполагает 10-летний план действий и включает следующие пять общих областей деятельности:

- измерение масштабов и распределения проблемы в области здравоохранения;
- понимание различных причин или детерминант проблемы, независимо от того, вызваны ли они биологическими, поведенческими, социальными или экологическими факторами;
- разработка решений или мер, которые будут способствовать предупреждению или ослаблению проблемы
- осуществление или обеспечение решений с помощью мер политики и программ;
- оценка воздействия этих решений на уровень и распределение проблемы⁹².

Франция

Национальная научная и инновационная стратегия Франции обозначила здоровье, питание и биотехнологии в качестве приоритета №1.

Основные приоритеты и вопросы стратегии:

- дать характеристику живой материи, от генома до экосистемы, развить знания о их сложности, в том числе создать модели для симуляции и предсказаний;
- сосредоточиться на наиболее важных сферах общественного здоровья: понять механизмы и разработать терапию нейродегенеративных заболеваний, в частности, болезни Альцгеймера,

охарактеризовать причины появления инфекционных заболеваний и разработать соответствующие лекарства, способствовать повышению автономности пожилых людей и инвалидов, в том числе через такие технологии, как робототехника, телемедицина и т.д.;

- осуществлять профилактику болезней через более высокое качество питания и возможность проследить происхождение продуктов, чтобы гарантировать их безопасность;
- уменьшить разрыв между результатами фундаментальных исследований и разработкой медицинских применений, что должно достигаться через трансляционные исследования, усиленные эффективной связью между академическими и промышленными исследователями;
- разработать основные технологии для персонализированной медицины и для более дешевых и менее инвазивных вмешательств⁹³.

В 2016 году французское правительство приняло решение запустить государственную программу «Геномная медицина 2025», цель которой – сделать секвенирование ДНК обычной клинической практикой для каждого лечебно-профилактического учреждения. Для этого на всей территории страны создадут сеть из 12 платформ для секвенирования, два центра национальной экспертизы и общую базу данных. В планах – за 10 лет исследовать 230 тысяч геномов, в первую очередь для того, чтобы найти эффективные способы борьбы с онкологическими заболеваниями и сахарным диабетом⁹⁴. Также во Франции есть специальные государственные программы исследований по раку и болезни Альцгеймера.

Великобритания

Регенеративная биомедицина вошла в список из восьми «великих» технологий, которые получат от Правительства Великобритании 600 млн фунтов на своё развитие и достижение лидерских позиций в мире. В сфере биомедицины также распределяется грант Catalyst для исследований с выраженным коммерческим потенциалом. В октябре 2011 года Королевское общество и Фонд Wellcome объявили о конкурсе на стипендию сэра Генри Дэйла, в рамках которой предусмотрен грант на 1 млн фунтов для молодых исследователей в сфере биомедицины, которые занимаются наиболее острыми медицинскими проблемами в мире: раком, сердечными заболеваниями и болезнью Альцгеймера⁹⁵.

⁹⁰Understanding health and disease // Governance The Wellcome Trust <https://wellcome.ac.uk/what-we-do/our-work/understanding-health-and-disease> (Просмотрено 07.12.2016)

⁹¹Our global health division // Bill & Melinda Gates Foundation <http://www.gatesfoundation.org/What-We-Do> (Просмотрено 07.12.2016)

⁹²Роль и обязанности ВОЗ в сфере научных исследований в области здравоохранения // ВОЗ http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA63/A63_R21-ru.pdf?ua=1 (Просмотрено 07.12.2016)

⁹³National Research and Innovation Strategy // Ministry for Higher Education and Research http://media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/S.N.R./28/7/SNRI_rapport_general_GBdef_158287.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

⁹⁴Мусиенко С. Пока неточная медицина // <http://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2016/12/07/668500-netochnaya-medsina> (Просмотрено 07.12.2016)

⁹⁵Innovation and Research Strategy for Growth // Department for Business, Innovation and Skills https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/32450/11-1387-innovation-and-research-strategy-for-growth.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

Кроме того, Министерство здравоохранения Великобритании запустило проект – «Сто тысяч геномов» (100,000 Genomes Project), который будет работать с узким списком онкологических и редких заболеваний. Цель программы – вывести Великобританию на лидирующие позиции в области Произучения геномных данных, а также усовершенствовать методы ранней диагностики и персонализированного лечения рака.

Швеция

Согласно Правительственному биллю Швеции «Исследования и инновации», сумму затрат на исследования в сфере старения и здоровья планируется увеличить с 2013 года вдвое, и почти на 90% увеличить финансирование исследований антибиотиков и инфекционных заболеваний⁹⁶. Документ ставит задачи, помимо дополнительных инвестиций в передовые направления наук о жизни, по превращению национального центра SciLifeLab в центр крупномасштабных молекулярных исследований, стимулированию высококачественных клинических исследований, сближению областей научных исследований и реальных потребностей системы здравоохранения.

Китай

Для КНР приоритетами являются следующие передовые технологии, которые планируется разрабатывать:

- технологии определения клеточных мишеней;
- технология молекулярного дизайна лекарств;
- технология инжиниринга тканей человеческого тела на основе стволовых клеток;
- промышленные биотехнологии нового поколения⁹⁷.

Япония

В Японии базовый план наук и технологий (5th Science and Technology Basic Plan) медицинские исследования связаны с вызовом достижения устойчивости развития общества (в т.ч. в борьбе со старением и снижением рождаемости). В Плане, помимо поддержки работы Агентства медицинских исследований и разработок (см. выше), отмечается намерение прилагать усилия в области контроля инфекционных заболеваний в партнерстве с другими странами⁹⁸. Также в дополнение к этому документу в Японии существует План продвижения медицинских исследований и разработок. Его целями является увеличение продолжительности здоровой жизни населения и возможность для страны оказывать медицинскую помощь своим

⁹⁶Research and innovation – summary http://www.government.se/contentassets/9131b15c802a44b9b196d442b498afdb/research-and-innovation---a-summary-of-government-bill-2012_13_30.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

⁹⁷The National Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development (2006–2020) // sydney.edu.au/.../National_Outline_for_Medium_and_Long_Term_Development1.doc (Просмотрено 07.12.2016)

⁹⁸Report on The 5th Science and Technology Basic Plan Council for Science, Technology and Innovation Cabinet Office, Government of Japan http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

⁹⁹The Plan for Promotion of Medical Research and Development // Headquarters for Healthcare Policy www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryu/en/pdf/plan.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

¹⁰⁰Муслиенко С. Пока неточная медицина // <http://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2016/12/07/668500-netochnaya-meditsina> (Просмотрено 07.12.2016)

гражданам на мировом уровне. Для достижения этих целей планируется предпринять довольно большой спектр мер: разработка роботизированного медицинского оборудования, объединение нанотехнологий и способов доставки лекарств, изменение системы управления интеллектуальной собственностью, разработка новых моделей лабораторных исследований и формирование национальной базы знаний в онкологии⁹⁹.

США

В США в 2015 г. запущена программа по развитию «точной медицины» (Precision Medicine Initiative), которая является промежуточным этапом между классическим и персонализированным подходами. Она не предполагает таргетированного лечения для каждого конкретного человека, а объединяет людей в группы, основываясь на биологических маркерах, например, одинаковом генотипе. Но у этих людей может быть разная реакция на препараты, и заболевание будет протекать по непохожим сценариям. Эксперты называют различные цифры по эффективности такого подхода. Например, подбор правильной терапии для сердечно-сосудистых заболеваний поможет избежать 17 тысяч инфарктов, а это более 1 млрд долл. экономии ежегодно только для США.

На промежуточный этап в 2015 году из бюджета было выделено 215 млн долл. Из них 130 млн долл. получил Национальный институт здравоохранения для создания когорты из 1 млн человек, в рамках которой любому гражданину предоставляется возможность пройти генетическое исследование и стать добровольцем в длительном наблюдении за своим здоровьем. Еще 70 млн долл. было выделено Национальному институту онкологии (National Cancer Institute) для испытания препаратов таргетной терапии, разработки новых моделей лабораторных исследований и формирования национальной базы знаний в онкологии¹⁰⁰.

Европейский Союз

На уровне Европейского Союза подпрограмма FET, часть программы Horizon2020, планирует поддерживать такое направление, как использование адаптивной стимуляции нервной системы или мозга для точного регулирующего контроля органов и биологических процессов в организме человека. Сюда включаются технологии для биоэлектронной медицины, терапия без лекарств, адаптивный ввод лекарственных средств, замкнутое взаимодействие между мозгом и

компьютером, разработка нейротрансмиттерной сенсорной системы. Указывается, что подход ответственных исследований и инноваций должен приниматься во внимание заявителями по этому приоритету¹⁰¹. Среди инициатив ЕС также можно назвать Объединенную программную инициативу в области лечения болезни Альцгеймера и нейродегенеративных заболеваний (Joint Programming Initiative on Neurodegenerative Diseases Research (JPND)). Цель инициативы – бороться с растущим вызовом нейродегенеративных заболеваний среди стареющего населения. Для достижения этой цели предполагается координирование сегодняшних и будущих подходов, коллабораций там, где это необходимо, коллективного использования инструментов, техник и других ресурсов. Стратегия инициативы – увеличение объема скоординированных инвестиций в исследования нейродегенеративных заболеваний (НЗ), нацеленных на поиск причин заболеваний, разработку лекарств, определение способов ухода за больными НЗ¹⁰².

Инициатива инновационных лекарств (Innovative Medicines Initiative (IMI)) – одно из крупнейших частных государственных партнерств в Европе, направленное на ускорение разработки более качественных и безопасных лекарств с общим бюджетом около 3 млрд евро¹⁰³.

Россия

В России в основе политики в сфере биомедицины лежит Стратегия развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года. Основной целью Стратегии является развитие передовых технологий медицинской науки и внедрение на их основе инновационных продуктов, обеспечивающих сохранение и улучшение здоровья населения. В рамках Стратегии предполагается решение следующих задач:

- развитие сектора медицинских исследований и разработок до соответствующего мирового уровня и интеграция российской медицинской науки в глобальное научное сообщество;
- совершенствование уровня фундаментальных и прикладных научных исследований и развитие научного кадрового потенциала;
- развитие системы экспертизы перспективных и приоритетных направлений научных исследований, определения качества и востребованности результатов научных исследований и их спроса для развития медицинской науки и внедрения в практическое здравоохранение;



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IMI

¹⁰¹Horizon 2020 Work Programme 2016–2017 // The European Commission http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-fet_en.pdf (Просмотрено 10.09.2016)

¹⁰²What are the JPND goals? // JPND Research <http://www.neurodegenerationresearch.eu/about/goals/> (Просмотрено 07.12.2016)

¹⁰³The innovative medicines initiative // Innovative Medicines Initiative <http://www.imi.europa.eu/> (Просмотрено 07.12.2016)

- повышение эффективности управления в системе медицинской науки, внедрение программно-целевого метода финансирования, проведение институциональной реформы и создание современной инфраструктуры; совершенствование экономических механизмов мотивации научных сотрудников.

К приоритетным направлениям отнесены: «онкология», «микробиология», «сердечно-сосудистые заболевания», «профилактическая среда», «эндокринология», «неврология и нейронауки», «педиатрия», «репродуктивное здоровье», «психиатрия и зависимости», «регенеративная медицина», «иммунология», «инвазивные технологии», «фармакология», «критические технологии в медицине»¹⁰⁴.

В 2015 году в программу фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы включено 16 тематик научных исследований в области медицины, биотехнологий и геномной инженерии, в том числе по направлениям «Общая генетика», «Биотехнология», «Геномные и постгеномные технологии создания лекарственных веществ», «Изучение генетических механизмов формирования патологического процесса», «Медицинские клеточные технологии», «Создание новых поколений вакцин против вирусных и бактериальных инфекций»¹⁰⁵.

В более всеобъемлющем документе – Стратегии научно-технического развития Российской Федерации до 2035 года, указывается, что исследования, которым следует отдавать приоритет, должны, в том числе обеспечивать переход к персонализированной и прогностической медицине, противодействие новым и возвращающимся инфекциям, разработку и внедрение систем рационального и целевого применения антимикробных препаратов, готовность к новым демографическим и социальным условиям.

Таким образом, можно видеть, что стратегирование в области биомедицины – распространенная практика. Биомедицинские исследования могут как входить в более общие научные стратегии стран, так и иметь собственные документы. Развитые страны также имеют целый ряд стратегических инициатив, имеющих многомиллиардные бюджеты, в отдельных сферах.

¹⁰⁴Распоряжение от 31 октября 2015 года №2217-р «О внесении изменений в программу фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы» <http://government.ru/docs/20425/> (Просмотрено 07.12.2016) ¹⁰⁵Распоряжение от 23 октября 2015 года №2144-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») «Развитие центров ядерной медицины» government.ru/docs/20287/ (Просмотрено 07.12.2016)

ИСТОЧНИКИ

1. 10 ведущих причин смерти в мире // ВОЗ <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/index4.html> (Просмотрено 14.11.2016)
2. Американские учёные создают химер, чтобы спасти людей Nanonewsnet.ru // <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016/amerikanskie-uchenye-sozdayut-khimer-chtoby-spasat-lyudei> (Просмотрено 17.01.2017)
3. Аполихин О.И., Москалева Н.Г., Комарова В.А. Современная демографическая ситуация и проблемы улучшения репродуктивного здоровья населения России // ЕСUro.ru — официальный сайт журнала «Экспериментальная и клиническая урология»
4. Балабан П. Модификация памяти // ИД «ПостНаука» URL: <https://postnauka.ru/video/68435> (Просмотрено: 07.12.2016)
5. Вишневский А.Г. Глобальные демографические вызовы здравоохранению // Демоскоп Weekly. 2015 №653 – 654
6. Глобальный план действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг. // Всемирная организация здравоохранения 2014 http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/94384/5/9789244506233_rus.pdf (Просмотрено 17.10.2016)
7. Долотовская С. Ученые вырастили химерные свиные эмбрионы с человеческими клетками // N+1 Интернет-издание <https://nplus1.ru/news/2017/01/27/chimera> (Просмотрено 17.01.2017)
8. Доронина-Амитонова Л. В., Федотов И. В., Федотов А. Б., Анохин К. В., Жёлтиков А. М., Нейрофотоника: оптические методы исследования и управления мозгом // УФН, 185:4 (2015), 371–392
9. Запомните эти буквы Что такое CRISPR/Cas9 и как эта технология изменит медицину // N+1 Интернет-издание <https://nplus1.ru/material/2016/02/02/crisprfaq> (Просмотрено: 01.11.2016)
10. Иванов А. Искусственный интеллект в медицине // iot.ru Самая актуальная информация из мира Интернета вещей. <https://iot.ru/meditsina/iskusstvennyu-intellekt-v-meditsine> (Просмотрено 22.10.2016)
11. Имянитов Е.Н., Хансон К.П. Молекулярная онкология: клинические аспекты. СПб.: СПбМАПО, 2007. 211 с.
12. Козлов А. «Я делаю открытия. Для этого я создан» // Материалы интернет-издания «Наука и технологии России – STRF.ru»
13. Кузнецов Е.Б. На пороге нового человечества // Материалы презентации, представленной на форсайт-сессии «Будущее науки» (21 октября 2016 г.)
14. Лищук О. Генная терапия восстановит эффективность лечения болезни Паркинсона // N+1 Интернет-издание <https://nplus1.ru/news/2016/08/22/parkingene> (Просмотрено: 01.11.2016)
15. Медицинская и фармпромышленность — путь к инновациям // Открытое правительство http://open.gov.ru/expert_sovet/5510121/ (Просмотрено 14.11.2016)
16. Миклашова Е.В. Сравнительный анализ состояния и развития рынков торговли медицинским оборудованием в России и за рубежом // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации»
17. Муртазин А. Генная терапия, или как загнать ДНК в клетку и вылечить этим пациентов // MEDACH <http://medach.pro/life-sciences/genetika/gene-therapy/> (Просмотрено 06.12.2016)
18. Мусиенко С. Пока неточная медицина // <http://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2016/12/07/668500-netochnaya-meditsina> (Просмотрено 07.12.2016)
19. Научные исследования // ВОЗ <http://www.who.int/topics/research/ru/> Просмотрено 07.12.2016
20. Нейротехнологии: прикладной интерес // НИУ ВШЭ <https://issek.hse.ru/trendletter/news/186419703.html> (Просмотрено 18.10.2016)
21. Новые методы лечения рака: таргетная терапия // oncomedic.org <https://www.oncomedic.org/новый-подход-к-лечению-рака> (Просмотрено 01.11.2016)
22. Общественное здравоохранение в Российской Федерации: основные проблемы и достижения // ВОЗ 2017 г. URL: <http://www.who.int/countries/rus/profile/ru/> (Просмотрено 17.10.2016)
23. Передовые клеточные технологии: от науки к практике // Новости GMP <http://gmpnews.ru/2016/04/peredovye-kletochnye-texnologii-ot-nauki-k-praktike/> (Просмотрено 14.10.2016)
24. Перепрограммирование без генной инженерии: доктор Дин и его коктейли URL: <https://defence.ru/article/10240/> (Просмотрено 24.10.2016)
25. Пешкова А. Тканевая инженерия — окно в современную медицину // «биомолекула.ру» <http://biomolecula.ru/content/949> (Просмотрено 22.11.2016)
26. Плетников М.В. Создание искусственных органов и тканей <http://evolution.powernet.ru/library/po8.htm> (Просмотрено 10.12.2016)
27. Torricelli A. et al. Neurophotonics: non-invasive optical techniques for monitoring brain functions. // Funct Neurol. 2014 Oct-Dec;29(4):223-30.
28. Artificial Intelligence Will Redesign Healthcare // The Medical Futurist <http://medicalfuturist.com/artificial-intelligence-will-redesign-healthcare/> (Просмотрено 17.03.2017)
29. Bauduer F. Evolutionary medicine: A new look on health and disease // Rev Med Interne. 2017 Mar;38(3):195–200. doi: 10.1016/j.revmed.2016.12.008.
30. Dimitrov DV. Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare. Healthcare Informatics Research. 2016;22(3):156-163. doi:10.4258/hir.2016.22.3.156.
31. The power of big data must be harnessed for medical progress // Nature 539, 467–468 (24 November 2016) doi:10.1038/539467b
32. Распоряжение от 31 октября 2015 года №2217-р. «О внесении изменений в программу

фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы» <http://government.ru/docs/20425/> (Просмотрено 07.12.2016)

33. Роль и обязанности ВОЗ в сфере научных исследований в области здравоохранения // ВОЗ http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA63/A63_R21-ru.pdf?ua=1 (Просмотрено 07.12.2016)

34. Системная биология // Институт системной биологии URL: <http://insysbio.ru/ru/research/3> (Просмотрено 11.11.2016)

35. Статистика рака в России // Онкофорум <http://www.oncoforum.ru/o-rake/statistika-raka/statistika-raka-v-rossii.html> (Просмотрено 14.11.2016)

36. Фемтосекундные лазеры и нанохирургия // ИД «ПостНаука» <https://postnauka.ru/video/53386> (Просмотрено 10.12.2016)

37. Чтение мыслей — история и технология прорыва // sci-fact.ru <http://sci-fact.ru/1-human-fact/chtenie-myslej-istoriya-i-texnologiya.html> (Просмотрено: 03.12.2016)

38. Щербакова Е. Мировой демографический барометр // Демоскоп Weekly. 2012 №531 – 532

39. Ясный И. Фармакология и медицинские биотехнологии в 2015 // Fast Salt Times <http://fastsalttimes.com/sections/obzor/497.html> (Просмотрено 14.10.2016)

40. Ястребова С. Оптогенетика. Как управлять нейроном с помощью света // «Элементы» http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/433205/Optogenetika_Kak_upravlyat_neyronom_s_pomoshchyu_sveta (Просмотрено: 23.11.2016)

41. A Revolution in R&D How genomics and genetics are transforming the biopharmaceutical industry// The Boston Consulting Group <http://www.bcg.com/documents/file13745.pdf>

42. A strategy for “convergence” research to transform biomedicine // MIT News <http://news.mit.edu/2016/strategy-convergence-research-transform-biomedicine-0623> (Просмотрено 30.10.2016)

43. About // Johns Hopkins University <http://krieger.jhu.edu/behavioralbiology/about/> (Просмотрено 06.12.2016)

44. About AMED // Japan Agency for Medical Research and Development <http://www.amed.go.jp/en/aboutus/> (Просмотрено 07.12.2016)

45. Avior Y., Sagi I., Benvenisty N., Pluripotent stem cells in disease modelling and drug discovery // Nature Reviews Molecular Cell Biology. – 2016. – Vol. 17. Pp. 170-182.

46. Benson E.S. Behavioral genetics: meet molecular biology // Monitor on Psychology. – April 2004. - Vol 35, No. 4. – P. 42.

47. Big Data to Knowledge (BD2K) // NIH <https://datascience.nih.gov/bd2k> (Просмотрено 20.10.2016)

48. Biochips Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2014 - 2020 // Future Market Insights <http://www.futuremarketinsights.com/reports/biochips-market> (Просмотрено 14.01.2017)

49. Blair W., Cox C. Current Landscape of Antiviral Drug Discovery // F1000Research. – 2016.

50. Bland J., Khan H., Loder J., Symons T., Westlake S. The NHS in 2030: a people-powered and knowledge-powered health system // Nesta. – July 2015.

51. Blecher-Gonen R. et al.. Deterministic direct reprogramming of somatic cells to pluripotency // Nature. – April 2013. – No. 502. – Pp.65–70.

52. Cancer drugs: remedy required // Nature Medicine 17, 231 (2011) doi:10.1038/nm0311-231

53. Carlson E. Mighty Mitochondria Play Life-and-Death Roles in Cells // Live Science <http://www.livescience.com/47979-mighty-mitochondria-nigms.html> (Просмотрено 13.11.2016)

54. Cherry C., Thompson B., Saptarshi N., Wu J., Hoh J. 2016: A Mitochondria' Odyssey // Trends in Molecular Medicine. - 2016.

55. Condliffe J. DeepMind Will Use AI to Streamline Targeted Cancer Treatment // MIT Technology Review <https://www.technologyreview.com/s/602277/deepmind-will-use-ai-to-streamline-targeted-cancer-treatment/> (Просмотрено 30.10.2016)

56. Cunningham J., Gatenby R., Brown J.. Evolutionary dynamics in cancer therapy. Molecular pharmaceuticals. 2011;8(6):2094-2100. doi:10.1021/mp2002279.

57. Darwinian Medicine Basic theory with Practical Uses for Public Health // WHO http://www.who.int/global_health_histories/seminars/presentation11.pdf (Просмотрено 12.10.2016)

58. Daubon T. et al. Practical Considerations for Omics Experiments in Biomedical Sciences // Current Pharmaceutical Biotechnology 2016. Vol.17. Iss 1. Pp. 105 – 114

59. Deloitte Centre for Health Solutions. Health care and life sciences predictions 2020: a bold future? // Deloitte <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Life-Sciences-Health-Care/gx-lshc-healthcare-and-life-sciences-predictions-2020.pdf> (Просмотрено 27.11.2016)

60. Ding L. et al. Trends in Cell-Based Electrochemical Biosensors // Current Medicinal Chemistry 15(30):3160-70 February 2008 <https://www.researchgate.net/publication/23656535> (Просмотрено 27.11.2016)

61. Gene therapy gets approval for bubble kids // New scientist URL: https://www.newscientist.com/article/2083180-gene-therapy-gets-approval-for-bubble-kids-in-world-first/?utm_source=NSNS&utm_medium=SOC&utm_campaign=hoot&cmpid=SOC%7CNNS%7C2016-GLOBAL-hoot (Просмотрено 13.10.2016)

62. Genome Editing Global Market - Forecast to 2022 // PR Newswire Association LLC <http://www.prnewswire.com/news-releases/genome-editing-global-market---forecast-to-2022-300391469.html> (Просмотрено 11.10.2016)

63. Global Oncology Trend Report a Review of 2015 and Outlook to 2020 // IMS Institute for Healthcare Informatics <https://morningconsult.com/wp-content/uploads/2016/06/IMS-Institute-Global-Oncology-Report-05.31.16.pdf> (Просмотрено 14.11.2016)

64. Ha D., Yang N., Nadihe V. Exosomes as therapeutic drug carriers and delivery vehicles across biological membranes: current perspectives and future challenges // Acta Pharmaceutica Sinica B. – July 2016. Vol. 6. – Issue 4. – Pp. 287-296.

65. Hayashi K., Ochiai-Shino H., Shiga T., Onodera S., Saito A., Shibahara T., Azuma T. Transplantation of human-induced pluripotent stem cells carried by

self-assembling peptide nanofiber hydrogel improves bone regeneration in rat calvarial bone defects // *BDJ Open – Nature*. – 2016. - Article number: 15007.

66. Horizon 2020 Work Programme 2016 – 2017 // The European Commission http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-fet_en.pdf (Просмотрено 10.09.2016)

67. Hossain M, Akter R, Jackson AL, Shrestha DS (2016) Future Directions of Biosensors // *Journal of Nanomedicine Research* 3(1): DOI: 10.15406/

68. How Much Cancer Costs // *Drugwatch.com* <https://www.drugwatch.com/2015/10/07/cost-of-cancer/> (Просмотрено 14.11.2016)

69. IBM's Watson transforming patient care // *Analytics Magazine* URL: <http://analytics-magazine.org/ibms-watson-transforming-patient-care/> (Просмотрено 20.10.2016)

70. Innovation and Research Strategy for Growth // Department for Business, Innovation and Skills https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/32450/11-1387-innovation-and-research-strategy-for-growth.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

71. Is HIPAA a Barrier to Big Data in Biomedical Research? // *LinkedIn* URL: <https://www.linkedin.com/pulse/hipaa-barrier-big-data-biomedical-research-sujay-jadhav> (Просмотрено 20.10.2016)

72. Kinross J., Darzi A., Nicholson J.. Gut microbiome-host interactions in health and disease. *Genome Medicine*. 2011;3(3):14. doi:10.1186/gm228.

73. Kosheleva N. V. et al. Laser-based technique for controlled damage of mesenchymal cell spheroids: a first step in studying reparation in vitro // *Biology Open*. – 2016. – Vol. 5. – No.7. Pp. 993-1000.

74. Kwapien A. Top 5 Examples of Big Data in Healthcare That Can Save People's Lives // *Datapine* <http://www.datapine.com/blog/big-data-examples-in-healthcare/#> (Просмотрено 20.10.2016)

75. Lawrence Berkeley National Laboratory BIOSCIENCES 10-YEAR SCIENTIFIC STRATEGIC PLAN 2013–2023 <https://biosciences.lbl.gov/wp-content/uploads/2015/09/biosciences-strategic-plan.pdf>

76. Lewis T. Human Brain Microchip Is 9,000 Times Faster Than a PC // *LiveScience* <http://www.livescience.com/45304-human-brain-microchip-9000-times-faster-than-pc.html> (Просмотрено 19.10.2016)

77. Linn A. How Microsoft computer scientists and researchers are working to 'solve' cancer // *Microsoft* <https://news.microsoft.com/stories/computingcancer/> (Просмотрено 31.10.2016)

78. Mesko B. The Guide to the Future of Medicine: Bringing Disruptive Technologies to Medicine & Healthcare // *The Medical Futurist*. – 2013.

79. Mission and Goals // National Institutes of Health <https://www.nih.gov/about-nih/what-we-do/mission-goals> (Просмотрено 07.12.2016)

80. Mission <http://www.mrc.ac.uk/about/what-we-do/mission/> (Просмотрено 07.12.2016)

81. National Research and Innovation Strategy // Ministry for Higher Education and Research http://media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/S.N.R.I/28/7/SNRI_rapport_general_GBdef_158287.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

82. Nesse R., Stearns S. The great opportunity: Evolutionary applications to medicine and public health. *Evolutionary Applications*. 2008;1(1):28-48. doi:10.1111/j.1752-4571.2007.00006.x.

83. Neuromorphic computers: what will they change? // Geneva Centre for Security Policy <http://www.gcsp.ch/News-Knowledge/Global-insight/Neuromorphic-Computers-What-will-they-Change> (Просмотрено 28.09.2016)

84. Our global health division // Bill & Melinda Gates Foundation <http://www.gatesfoundation.org/What-We-Do> (Просмотрено 07.12.2016)

85. Overview // Human Brain Project <https://www.humanbrainproject.eu/2016-overview> (Просмотрено 23.10.2016)

86. Parr C. Is HIPAA a Barrier to Big Data in Biomedical Research? // *LinkedIn*. – 2015.

87. PhRMA Annual Membership Survey http://phrma-docs.phrma.org/sites/default/files/pdf/2015-phrma_profile_membership_results.pdf (Просмотрено 02.11.2016)

88. Pooling research to tackle common diseases // Federal Ministry of Education and Research <https://www.bmbf.de/en/pooling-research-to-tackle-common-diseases-2592.html> (Просмотрено 07.12.2016)

89. Rais Y. et al. Deterministic direct reprogramming of somatic cells to pluripotency. // *Nature*. 2013 Oct 3; 502(7469):65-70. doi: 10.1038/nature12587

90. Report on The 5th Science and Technology Basic Plan Council for Science, Technology and Innovation Cabinet Office, Government of Japan http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

91. Research and innovation – summary http://www.government.se/contentassets/9131b15c802a44b9b196d442b498afdb/research-and-innovation---a-summary-of-government-bill-2012_13_30.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

92. Research and innovation – summary http://www.government.se/contentassets/9131b15c802a44b9b196d442b498afdb/research-and-innovation---a-summary-of-government-bill-2012_13_30.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

93. Schandera J., Mackey T.K. Mitochondrial Replacement Techniques: Divergence in Global Policy // *Trends in Genetics*. – Vol. 32. - Issue 7. - Pp. 385 – 390.

94. Scientific Panel for Health (SPH) // European Commission <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/scientific-panel-health-sph> (Просмотрено 07.12.2016)

95. Signature initiatives // Canadian Institutes of Health Research <http://www.cihr-irsc.gc.ca/e/43567.html> (Просмотрено 07.12.2016)

96. Soloperto A., et al. Laser Nano-Neurosurgery from Gentle Manipulation to Nano-Incision of Neuronal Cells and Scaffolds: An Advanced Neurotechnology Tool // *Frontiers in Neuroscience*. – 2016. – Vol. 10. – No. 101.

97. Stoye E. 3D printed tissues grow and develop in animal tests // *CHEMISTRY WORLD* <https://www.chemistryworld.com/news/3d-printed-tissues-grow-and-develop-in-animal-tests/9462.article> (Просмотрено 22.11.2016)

98. Strategic foresight for the post-2015 development agenda <http://unctad.org/meetings/>

en/SessionalDocuments/ecn162015d3_en.pdf
(Просмотрено 09.10.2016)

99. Strategic foresight for the post-2015 development agenda Report of the Secretary-General // UN Economic and Social Council.

100. Strategic Plan: Strategic research priority 3 – bioscience for health // BBSRC <http://www.bbsrc.ac.uk/news/planning/strategy/priority-three/> (Просмотрено 07.12.2016)

101. Strategy for health and medical research // NHMRC <https://www.nhmrc.gov.au/about/nhmrc-mission-and-functions/nhmrc-strategic-direction> (Просмотрено 07.12.2016)

102. Targeted Cancer Therapies // National Cancer Institute <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/targeted-therapies/targeted-therapies-fact-sheet> (Просмотрено 01.11.2016)

103. Technology Landscape // CITRIX 2020 Technology Landscape. – April 2015.

104. The global burden of disease: 2004 update // WHO http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf (Просмотрено 17.10.2016)

105. The Incredible New Advances in the Fight Against HIV/AIDS // Time Inc. <http://fortune.com/2016/07/21/hiv-aids-cure-vaccine/> (Просмотрено 13.10.2016)

106. The National Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development (2006–2020) // sydney.edu.au/.../National_Outline_for_Medium_and_Long_sydney.edu.au/.../National_Outline_for_Medium_and_Long_Term_ST_Development1.doc (Просмотрено 07.12.2016)

107. The NHS in 2030: a vision of a people-powered, knowledge-powered health system // Nesta <https://www.nesta.org.uk/sites/default/files/the-nhs-in-2030.pdf> (Просмотрено 30.10.2016)

108. The Plan for Promotion of Medical Research and Development // Headquarters for Healthcare Policy www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryuu/en/pdf/plan.pdf (Просмотрено 07.12.2016)

109. Thome J., Hassler F., Zachariou V. Gene therapy for psychiatric disorders // The World Journal of Biological Psychiatry. – 2011. – Vol. 12. – Suppl. 1. – Pp. 16–18.

110. Top Trends in Health and Science for 2014// The Regents of the University of California <https://www.ucsf.edu/news/2013/12/110666/top-trends-health-sciences-2014> (Просмотрено 29.09.2016)

111. Understanding health and disease // Governance The Wellcome Trust <https://wellcome.ac.uk/what-we-do/our-work/understanding-health-and-disease> (Просмотрено 07.12.2016)

112. Understanding Targeted Therapy // American Society of Clinical Oncology (ASCO) <http://www.cancer.net/navigating-cancer-care/how-cancer-treated/personalized-and-targeted-therapies/understanding-targeted-therapy> (Просмотрено 10.11.2016)

113. Understanding the human brain. A new era of big neuroscience // European Parliamentary Research Service http://www.europarl.europa.eu/stoa/webdav/site/cms/shared/2_events/workshops/2016/20161129/Booklet.pdf (Просмотрено 23.10.2016)

114. Understanding the human brain. A new era of big neuroscience // European Parliamentary Research Service http://www.europarl.europa.eu/stoa/webdav/site/cms/shared/2_events/workshops/2016/20161129/Booklet.pdf (Просмотрено 23.10.2016)

115. VACCINES // Secretary's Minority AIDS Initiative Fund (SMAIF) <https://www.aids.gov/hiv-aids-basics/prevention/prevention-research/vaccines/> (Просмотрено 13.10.2016)

116. Vaudel M.; Barsnes H. Bjerkgvig R., Bikfalvi A., Selheim F., Berven F.S., Daubon T. Practical Considerations for Omics Experiments in Biomedical Sciences // Current Pharmaceutical Biotechnology. – January 2016. – Vol. 17. – No. 1. – Pp. 105-114.

117. Vision // Stanford Medicine <https://med.stanford.edu/bdsi/vision.html> (Просмотрено 31.10.2016)

118. What are the JPND goals? // JPND Research <http://www.neurodegenerationresearch.eu/about/goals/> Просмотрено 07.12.2016
119. The innovative medicines initiative // Innovative Medicines Initiative <http://www.imi.europa.eu/> (Просмотрено 07.12.2016)

119. What Is Personalized Medicine? // Personalized Medicine Coalition http://www.personalizedmedicinecoalition.org/Userfiles/PMC-Corporate/file/pmc_age_of_pmc_factsheet.pdf (Просмотрено 14.10.2016)

120. World Alzheimer Report 2011 // Alzheimer's Disease International <https://www.alz.co.uk/research/WorldAlzheimerReport2011.pdf> (Просмотрено 02.11.2016)

121. World Alzheimer Report 2015 // Alzheimer's Disease International <http://www.worldalzreport2015.org/downloads/world-alzheimer-report-2015.pdf> (Просмотрено 02.11.2016)

П Р И Л О Ж Е Н И Е 1

Описание экспертного семинара

Мероприятие было проведено 27 сентября 2016 г. на площадке Российского научного фонда.

Цель экспертного семинара – сформировать общее видение тенденций, вызовов и перспектив развития биомедицины с целью дальнейшей реализации форсайт-исследования и подготовки форсайт-сессии.

Формат мероприятия: дискуссия в формате круглого стола по следующим вопросам:

1. На какие глобальные вызовы общества отвечает биомедицина, российские особенности организации научных исследований;

2. Какие мегатренды формируются в биомедицине, ключевые события и знаковые открытия;

3. Лидирующие научные школы в биомедицине;

4. Флагманские научные проекты и программы в биомедицине, представляющие особый интерес.

Перечень участников экспертного семинара

1. Ведунова Мария Валерьевна, директор Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского

2. Завестовская Ирина Николаевна, директор Инженерно-физического института биомедицины, НИЯУ МИФИ

3. Заседателев Александр Сергеевич, заведующий лабораторией ИМБ РАН

4. Имянитов Евгений Наумович, руководитель Отдела биологии опухолевого роста НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова

5. Кистенев Юрий Владимирович, зам. проректора по науке НИ ТГУ

6. Кульчин Юрий Николаевич, директор Института автоматки и процессов управления, заместитель председателя Дальневосточного отделения РАН

7. Лавров Александр Вячеславович, заведующий лабораторией мутагенеза № 517 ФГБНУ «Медико-генетический научный центр»

8. Лукашев Александр Николаевич, заведующий лабораторией молекулярной биологии вирусов ФГБНУ ФНЦРИП им. М.П.Чумакова РАН

9. Лядова Ирина Владимировна, заведующая лабораторией № 515 ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»

10. Парфенова Елена Викторовна, заведующая лабораторией ФГБУ «РКНПК» Минздрава России

11. Тимошенко Виктор Юрьевич, зам. директора инженерно-физического института биомедицины (ИФИБ) НИЯУ МИФИ

12. Чойнзонов Евгений Лхамцыренович, директор Томского НИМЦ, заведующий отделением опухолей головы и шеи НИИ онкологии Томского НИМЦ, заведующий кафедрой онкологии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России

П Р И Л О Ж Е Н И Е 2

Описание экспертной сессии

Сессия была проведена 21 октября 2016 г. на площадке Федерального агентства научных организаций. К участию в сессии были приглашены грантополучатели и эксперты Российского научного фонда, руководители подведомственных организаций ФАНО России, сотрудники ведущих российских университетов, входящих в «Проект 5-100», представители научных сообществ Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Томска, Новосибирска.

Участники были разделены на группы по трем научным областям:

- нутрициология (науки о питании);
- наука о борьбе с инфекционными заболеваниями;
- биомедицина, участники которой были поделены на две группы.

Итоги работы групп по биомедицине представили: Е. Н. Имянитов (НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова), А. П. Козлов (ЧНИУ «Биомедицинский центр»), И. В. Лядова (Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза), А. А. Устюгов (Институт физиологически активных веществ РАН).

Сессия, проводилась по методике Disruptive Foresight, разработанной Центром стратегических разработок. Цель метода – выделить точки, условия и направления бифуркации, когда произойдет смена установившегося режима работы крупной системы, такой как научная деятельность. Формат работы – мозговой штурм, коллективное заполнение группой карточек с условиями, вклеивание их на стрелу времени. Мероприятие было организовано в два шага.

Основные задачи на сессию включали в себя:

- формирование итогового перечня больших вызовов биомедицины, а также определить научную картину в 2016 году по направлениям: научный мейнстрим и периферия (зрелая наука), прорывы и фантастические научные теории;
- создание карты науки на 2050 год по выделенным областям, а также определение условий, при которых будут происходить принципиальные изменения научной карты, определение вероятных событий в научном мире и периодов их наступления.

В результате в каждой из групп были сформированы: (1) матрица карты научной области на 2016 год; (2) таймлайн развития основных событий научной области.

Перечень участников экспертной сессии, группа «Биомедицина»

1. Бигильдеев Алексей Евгеньевич, научный сотрудник ФГБУ «Гематологический научный центр» Минздрава РФ

2. Ведунова Мария Валерьевна, директор Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского

3. Гореликов Петр Леонидович, заведующий лабораторией нейроморфологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт морфологии человека» РАМН

4. Гуляева Наталья Валерьевна, заведующая лабораторией функциональной биохимии нервной системы Института Высшей Нервной Деятельности и Нейрофизиологии РАН

5. Замятнин Андрей Александрович, МГУ имени М.В. Ломоносова

6. Имянитов Евгений Наумович, руководитель Отдела биологии опухолевого роста НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова

7. Каменский Петр Андреевич, ведущий научный сотрудник МГУ имени М.В. Ломоносова

8. Кистенев Юрий Владимирович, зам. проректора по науке НИ ТГУ

9. Козлов Андрей Петрович, директор ЧНИУ «Биомедицинский центр», руководитель научно-исследовательской лаборатории «Молекулярная вирусология и онкология» СПбПУ Петра Великого

10. Кубряк Олег Витальевич, заведующий научно-организационным отделом ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина»

11. Лядова Ирина Владимировна, заведующая лабораторией № 515 ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»

12. Маркин Андрей Аркадьевич, ведущий научный сотрудник ГНЦ Институт медико-биологических проблем РАН

13. Орехов Александр Николаевич, заведующий лабораторией ангиопатологии НИИ общей патологии и патофизиологии, директор НИИ атеросклероза (Сколково)

14. Павленко Александр Владимирович, младший научный сотрудник ФНКЦ физико-химической медицины ФМБА России

15. Парфенова Елена Викторовна, заведующая лабораторией ФГБУ «РКНПК» Минздрава России

16. Перфилова Ольга Евгеньевна, ученый секретарь ФГБНУ «НИИ медицины труда»

17. Пестряков Павел Ефимович, научный сотрудник ФГБУН Институт химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАН

18. Петинати Наталия Арнольдовна, научный сотрудник ФГБУ «Гематологический научный центр» Минздрава России

19. Плотников Егор Юрьевич, ведущий научный сотрудник НИИ Физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского МГУ

20. Силачев Денис Николаевич, старший научный сотрудник НИИ Физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского МГУ

21. Устюгов Алексей Анатольевич, старший научный сотрудник Института физиологически активных веществ РАН

22. Федорончук Тамара Васильевна, ведущий научный сотрудник № 518 ФГБНУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича»

23. Харин Александр Юрьевич, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

24. Хотин Михаил Георгиевич, научный сотрудник Института цитологии РАН

П Р И Л О Ж Е Н И Е 3

Мировая практика форсайт-исследований

Практика форсайтов получает все большее распространение в мире. Идея форсайта в том, что будущее не определено, на него можно влиять и даже создавать его. Форсайт позволяет конструировать вероятностные планы для нежелательных, но возможных сценариев, формировать политику, капитализирующую трансформационные возможности предпочтительного будущего. Его можно использовать на разных уровнях и этапах цикла планирования. Как инструмент для выявления трендов форсайт используется для определения коротко-, средне- и долгосрочного будущего. Форсайты также позволяют правительствам создавать стратегии, учитывающие неизбежные изменения. На национальном уровне метод может поддерживать эффективную систему управления и конструировать национальные нарративы и идентичность. Форсайты позволяют обеспечить вовлечение и ответную реакцию общественности, совместное создание устойчивых решений в разных сферах государственной власти, инклюзивный подход к управлению.

Наиболее общая классификация форсайтов выглядит так:

- стратегический форсайт. Подход часто используется отделами стратегического планирования национальных правительств. Методология изначально практиковалась у военных. Классическое применение фокусируется на возможных будущих трендах и вариантах развития одного ключевого драйвера, например, технологий, транспорта и т.д. Основная цель – это долгосрочная стратегия, использующая преимущества многообещающих будущих трендов. Также стратегический форсайт применяется правительственными структурами, чтобы понять сложность и взаимосвязанность множества факторов (экономических, социальных, политических, окружающей среды и т.д.).
- коллективный форсайт. Мероприятия такого форсайта часто проводятся с целью мотивирования, его методы инклюзивны и демократичны. Коллективный форсайт, как правило, направлен на определение желаемого будущего;
- революционный форсайт. Подход имеет своей целью обеспечение более эффективной платформы для широкого включения и вовлечения стейкхолдеров, помимо обычных консультационных механизмов. Он открывает политическое

пространство для нетрадиционных акторов, чтобы охватить как можно больше взглядов и интересов и создать более устойчивое основание для коллективного действия;

- трансформирующий форсайт. Подход основывается на идее предпочтительного будущего. Такой форсайт предполагает оспаривание имеющихся представлений о будущем, демонстрируя и создавая альтернативное (но при этом вероятное) будущее.

Есть целый ряд других параметров, по которым может варьироваться форсайт:

- уровень: организационный, местный, региональный, национальный;
- временной горизонт: от самого ближайшего будущего до нескольких десятилетий;
- вовлекаемые акторы;
- методология;
- статус и цель исследования (от методологического эксперимента до крупной политической инициативы)¹⁰⁶.

В рамках картирования мировых форсайтов было описано более 1000 исследований, в большинстве своем в европейских странах и США, но также в Латинской Америке, Азии и Океании¹⁰⁷.

Методы форсайта

Известно более 30 возможных методик и подходов к проведению форсайта¹⁰⁸.

Прогнозирование (Forecasting)

Процесс формирования утверждений о событиях, чьи последствия еще нельзя наблюдать. Метод основывается на исторических данных и используется для предсказания результатов и итогов событий.

Сильные стороны:

- легко и быстро делается на базовом уровне;
- может быть проведена независимая оценка;
- упрощает стратегирование и принятие решений;
- может бросить вызов существующим парадигмам и ресурсным ограничениям.

Недостатки:

- игнорирует факторы, связанные со смежными сферами;
- оценка вероятностей может быть неверной;
- может быть сложным и требовать обучения;

¹⁰⁶Georghiou L. Evaluating Foresight and Lessons for Its Future Impact <http://www.nistep.go.jp/IC/ic030227/pdf/p6-1.pdf> (Просмотрено 02.03.2017)

¹⁰⁷Mapping Foresight Revealing how Europe and other world regions navigate into the future // The European Commission http://www.augurproject.eu/IMG/pdf/EFMN_Mapping_web-2.pdf (Просмотрено 01.03.2017)

¹⁰⁸На основе реферата Foresight: the Manual // UNDP Global Centre for Public Service Excellence http://www.undp.org/content/dam/undp/library/capacity-development/English/Singapore%20Centre/GCPSE_ForesightManual_online.pdf?download (Просмотрено 01.08.2016)

- может некритично оцениваться людьми;
- может быть очень затратным по времени.

Ретрополяция (Backcasting)

Метод формулирует желаемое будущее и потом продвигается назад во времени, чтобы найти события и решения, которые сгенерируют такое будущее. Это позволяет организациям определить, какие действия, политики и программы сегодня необходимы, чтобы связать будущее с настоящим. Метод используется на начальных стадиях проекта, при планировании и управлении ресурсами.

Сильные стороны:

- избегает экстраполяции существующих условий;
- быстрый и гибкий;
- доступный;
- креативный.

Недостатки:

- может потребовать постоянного обновления;
- может быть затратным по ресурсам и по времени;
- имеет неопределенную концептуальную рамку;
- требует высокой квалификации участников.

Метод использовался при определении британской транспортной политики¹⁰⁹ и возможностей устойчивого развития Гетеборга (Швеция)¹¹⁰.

Создание дорожных карт (Roadmapping)

Создание дорожных карт – важный инструмент для коллаборативного планирования и координации. Дорожная карта определяет критические потребности системы, цели для продуктов и процессов, технологические альтернативы и вехи для достижения этих целей.

Метод помогает прийти к консенсусу по поводу набора потребностей и технологий, необходимых для удовлетворения этих потребностей, обеспечивает механизм для помощи экспертам в предсказании развития технологий в определенных сферах, создает рамку для планирования и координирования технологического развития как в компаниях, так и в целых областях промышленности.

Сильные стороны:

- обеспечивает информацию для принятия решений об инвестировании в технологии;
- определяет технологические альтернативы для удовлетворения критических потребностей;
- определяет критические потребности, которые будут ведущими для технологического отбора и решений в сфере развития;
- сложные карты могут разрабатываться и обновляться в режиме реального времени.

¹⁰⁹Bannister D., Hickman R. Looking over the Horizon: Visioning and Backcasting for UK Transport Policy // Department for Transport – New Horizons Research Programme 2004/05. http://vibat.org/vibat_uk/pdf/vibatuk_method_issues.pdf (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹⁰Phdungsilp A. Futures studies' backcasting method used for strategic sustainable city planning // Futures 43 (2011): 707–714. <http://www.cgee.org.br/atividades/redirKori/7894> (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹¹Australian Public Service Mobile Roadmap: Adopting mobile technology across government // Australian Government Information Management Office (Commonwealth of Australia, June 2013) <http://www.finance.gov.au/files/2013/06/APS-Mobile-Roadmap.pdf> on (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹²Tugrul U., Oliver T. Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency // Technological Forecasting and Social Change 75 (2008) 687–720 <http://www.cgee.org.br/atividades/redirKori/4571> (Просмотрено 01.08.2016)

Недостатки:

- затратный по времени и ресурсам;
 - участники должны быть знакомы с процессом формирования дорожных карт;
- Метод использовался для определения будущего государственной службы в Австралии¹¹¹ и энергетических услуг в США¹¹².

Агентская модель (Agent-based Modelling)

Агентская модель симулирует сложные системы, в том числе взаимодействие между автономными агентами в соответствии с predetermined правилами. Метод показывает существующие паттерны в системах, которые кажутся неочевидными, если агенты или взаимодействия исследуются в изоляции. Модель используется для анализа ситуаций, включающих взаимодействие нескольких агентов, и фиксации социальных сетей и контактов между людьми.

Сильные стороны:

- симулирует влияние действий отдельного человека на всю систему.

Недостатки:

- ограничен детализацией и точностью программируемых правил.

Аэродинамическая труба (Windtunnelling)

Метод похож на ретрополяцию и помогает тестировать, как будущие изменения могут повлиять на возможность реализовать тот или иной проект или набор стратегических целей. Участники определяют, как они будут достигать своих целей в различных сценариях. Техника позволяет им определить критические точки планирования, где стратегия должна быть гибкой.

Как правило, подход наиболее эффективен, когда используется в комбинации со сценариями. Лучше всего его применять, когда политика или стратегия были разработаны, но реализация еще не началась, или при пересмотре политики или стратегии.

Стресс-тестирование (Stress-testing)

Стресс-тестирование помогает лицам, принимающим решения, оценить надежность политики, определяя слабости в существующей политике и потенциальные провальные пункты существующих стратегий. Существующие пороги провала тестируются с применением наиболее неблагоприятных сценариев. Метод используется для определения и контроля рисков.

Недостатки:

- само по себе стресс-тестирование не может оценить все возможные слабости, лучше всего использовать как часть более всеобъемлющего подхода;

- использование исторических статистических взаимосвязей для оценки риска предполагает, что риск исходит от известного и постоянного политического процесса, и что исторические связи формируют достаточную основу для предсказания будущих рисков.

Сканирование среды/горизонта (Environmental / Horizon Scanning)

Систематическое исследование внешней среды, направленное на то, чтобы лучше понимать природу и темпы изменений и определять потенциальные возможности, вызовы и варианты будущего, релевантные для организации. Сканирование предполагает исследование новых, странных, необычных идей, вызовов и трендов. Метод помогает гарантировать, что политики устойчивы к различным вариантам будущего.

Возможно использование метода по следующим направлениям:

- все стадии политического планирования;
- кабинетные исследования;
- определение важных экономических, социальных, культурных, научных, технологических, политических трендов, ситуаций и событий;
- определение потенциальных возможностей и угроз для организаций, подразумеваемых этими трендами, ситуациями и мероприятиями;
- точное понимание сильных сторон и ограничений организации;
- создание основы для анализа будущих программных инвестиций.

Сильные стороны:

- предлагает быстрое заблаговременное предупреждение о возможных изменениях, что дает больше времени на подготовку к ним;
- улучшает подход к инновациям и управление рисками.

Недостатки:

- затратный по ресурсам и усилиям;
- не способен выявить все возникающие изменения;
- нет четких правил, которые позволяют гарантированно правильно интерпретировать информацию.

Метод использовался для различных типов форсайтов в Африке¹¹³, в работе британского правительства¹¹⁴ и для ряда инициатив, охватывающих весь мир¹¹⁵.

Анализ текстов (Text mining)

Анализ текстов определяет паттерны и принципиально новые проявления в больших объемах данных и информации, собранных

¹¹³Crafting Africa's Futures: National Long Term Perspective Studies (Africa: UNDP, 2009) // UNDP African Future Programme <http://www.foresightfordevelopment.org/sobipro/55/491-crafting-africas-futures-national-long-term-perspective-studies> Brookings, Foresight Africa // Brookings Africa Growth Initiative <http://www.brookings.edu/about/projects/africa-growth/foresight-africa-series> (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹⁴Horizon Scanning Programme Team // UK government <https://www.gov.uk/government/groups/horizon-scanning-programme-team> (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹⁵Frederick S. Pardee Institute for International Futures, Patterns of Potential Human Progress series, University of Denver. <http://pardee.du.edu/patterns-potential-human-progress> My World 2015 survey // <http://vote.myworld2015.org/> (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹⁶Bicquelet A., Weale A. Coping with the Cornucopia: Can Text Mining Help Handle the Data Deluge in Public Policy Analysis? // Policy & Internet 3. no. 4. 2011. <http://doi.org/10.2202/1944-2866.1096>

как с внутренних, так и с внешних источников. Задачи анализа текстов включают категоризацию, разделение на кластеры, извлечение сути/идеи, создание детальной таксономии, анализ эмоциональной окраски высказываний и т.д. Метод требует специального программного обеспечения. Анализ текстов – ключевой инструмент для сканирования горизонтов, где используется для определения слабых сигналов, возникающих проблем и непредвиденных факторов.

Сильные стороны:

- может обрабатывать большие объемы информации и разрабатывать индикаторы изменений;
 - может интерпретировать смыслы;
 - подходит и для структурированных, и для неструктурированных данных.
- Недостатки:*
- дает только частичные, хотя и релевантные ответы;
 - может упускать важные источники ключевых слов, людей и организаций;
 - требует дополнительной экспертной оценки;
 - сложный;
 - стоимость доступа к базам данных может быть очень высока;
 - требует высококвалифицированных специалистов.

Методика использовалась, например, для разработки политики в сфере здравоохранения в Великобритании¹¹⁶.

Слабые сигналы и дикie карты (Wild cards and weak signals)

Слабые сигналы – неявные индикаторы изменений в трендах и системах. Дикie карты имеют низкую вероятность, но большое влияние.

Цель этой техники не в том, чтобы предсказать непредсказуемый фактор, а в том, чтобы усилить способность организации противостоять похожим изменениям или использовать их.

Метод используется для стимулирования инноваций, оценки угроз, планирования на случай чрезвычайных ситуаций.

Сильные стороны:

- помогает отдельным людям и группам использовать экстремальное мышление о мире, «помыслить о немыслимом»;
- учит адаптироваться и лучше приспосабливаться к будущим шокам;
- уменьшает белые пятна;
- отмечает потенциальные разрывы на раннем этапе.

Недостатки:

- возможен только ограниченный мониторинг.

Сценарное планирование (Scenario planning / building)

Сценарное планирование создает представления о будущем, исследующие, как мир может измениться, если определенные тренды усилятся или исчезнут, или произойдут различные события. Сценарное планирование не пытается предсказать, что случится, но через формальный процесс определяет и ограничивает набор примеров возможного будущего, предоставляя точку отсчета для оценки существующих стратегий или формулирования новых.

Использование возможно для широкого спектра целей:

- исследование неопределенностей;
- тестирование ограничений;
- упорядочивание альтернативных версий будущего;
- определение и оценка возникающих рисков и возможностей;
- сбор информации и знаний для планирования;
- формирование свежего взгляда на стратегию развития;
- репетиция будущего;
- информирование о личных и организационных решениях.

Сильные стороны:

- описывает не одно, а несколько реалистичных и предпочтительных вариантов;
- превосходит другие методы, при условии, что число факторов, которые необходимо учесть, и уровень неопределенности высоки;
- подходящий способ выявления слабых сигналов, технологических разрывов и подрывных событий для включения их в долгосрочное планирование;
- стимулирует стратегическое мышление, креативность, коммуникацию и организационную гибкость;
- стимулирует проактивное лидерство;
- позволяет организациям работать специально для создания желаемого будущего.

Недостатки:

- может быть истолкован как «официальное будущее» неэкспертами;
- иногда выглядит субъективно и искусственно, поэтому может не вызывать доверия;
- люди часто не могут отключиться от своих представлений;
- затратный по времени;
- сложный;
- может быть дорогим;
- границы проекта могут расползаться.

Метод использовался для крупных правительственных исследований в Бразилии¹¹⁷ и Индии¹¹⁸.

Видение (Visioning)

Метод предназначен для формирования убедительного видения предпочтительного будущего. Формирование ясного видения – предшественник планирования и ключ к созданию условий для мобилизации группы вокруг общей цели. Метод используется на начальных этапах форсайта, в процессе стратегического планирования, при разработке проекта.

Сильные стороны:

- способствует формированию приоритетов;
 - вдохновляет, вовлекает и поддерживает большинство людей;
 - подходит для генерирования идей, взаимодействия и поиска соглашения об общем взгляде, ценностях, процессах и целях.
- Недостатки:*
- требует глубокой коммуникации и сильного лидерства с самого начала;
 - должен быть живым, гибким, объединяющим, но в то же время достижимым и этичным.

Анализ воздействия трендов (Trend impact analysis)

Анализ воздействия трендов исследует причины, природу, потенциальное влияние, вероятность, скорость проявления зарождающихся проблем и изменений. Этот метод также может использоваться для прогнозирования, планирования внештатных ситуаций, анализа возможных последствий, стратегического планирования.

Сильные стороны:

- простой;
- экономичный;
- предполагает рассмотрение нелинейных экстраполяций трендов.

Метод использовался для анализа рынка потребления фруктов в Европе¹¹⁹ и возможностей развития технологий автоматического перевода¹²⁰.

Анализ драйверов (Drivers analysis)

Драйверы – это проблемы и тренды, объединенные общей темой, которые будут стимулировать будущие изменения. Драйверы высокого уровня – это, например, глобализация, демографические изменения и технологии. Метод определяет, какие драйверы являются ключевыми для рассматриваемой темы.

Сильные стороны:

- может находить слабые сигналы потенциально подрывных драйверов.

¹¹⁷Sociedade Civil 2030 scenarios // Sociedade Civil. <http://sociedadecivil2023.org.br/english/> (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹⁸Scenarios: Shaping India's Future, July 2013 // India Government Planning Commission http://planningcommission.gov.in/reports/genrep/rep_sce2307.pdf (Просмотрено 01.08.2016)

¹¹⁹Hennen W. H., Benninga J. Application of Trend Impact Analysis for Predicting Future Fruit Consumption // Journal of Horticultural Science & Biotechnology (2009) ISAFRUIT Special Issue 18–21. http://www.jhortscib.com/isafruit/isa_pp018_021.pdf (Просмотрено 01.08.2016)

¹²⁰Lehman-Wilzig S. Babbling Our Way to a New Babel: Erasing the Language Barriers // The Futurist (May-June 2001): 16-23. <http://proflw.com/wp-content/uploads/academic/babbling.pdf> on (Просмотрено 01.08.2016)

Недостатки:

- первичный анализ приведет к большому числу потенциальных драйверов (более сотни);
- анализ сильно зависит от целей работы.

Колесо будущего (Futures Wheel)

Колесо будущего – это графическая визуализация прямых и непрямых последствий изменений. Метод можно использовать в принятии решений и управлении изменениями. Также инструмент полезен на стадии брейнсторминга.

Сильные стороны:

- структурирует возможные воздействия;
- визуализирует взаимосвязи;
- способствует брейнстормингу;
- может отражать множество перспектив будущего;
- быстро и легко делается.

Недостатки:

- это лишь предварительный этап для других методов форсайта.

Деревья релевантности (Relevance Trees)

Деревья релевантности – это аналитическая техника, разделяющая широкую тему на несколько малых подтем. Итог – схематическое представление иерархической структуры, отражающей тему с максимально высокой степенью детализации. Результат показывает последовательные цепи причинно-следственных связей.

Сильные стороны:

- гарантирует, что проблема или вопрос получит очень детальное рассмотрение;
- представляет связь между элементами как в настоящей, так и в потенциальной форме.

Недостатки:

- требует критических суждений, которые, в случае ошибочности, ослабят результат.

Метод использовался для анализа возможных альтернатив транспортной и энергетической политики в США¹²¹.

Морфологический анализ (Morphological analysis)

Морфологический анализ – дополняющая техника, часто используется с деревьями релевантности, для определения новых возможностей для тех или иных продуктов. Техника включает картирование вариантов, чтобы получить общую перспективу возможных решений.

Метод может использоваться в различных сферах, включая анализ политик, исследования будущего для сценарного планирования и разработку новых продуктов.

Сильные стороны:

- не количественный метод для исследования проблем, которые не могут быть разобраны при помощи формальных математических методов, причинного моделирования и симуляции;
- быстро выявляет неясные параметры, определения и неполные списки условий;
- может аккумулировать множество альтернативных перспектив;

• упрощает графическое представление пространства решений.

Недостатки:

- может быть чрезмерно структурированным;
- сложный и затратный по времени.

Анализ технологических последовательностей (Technology Sequence Analysis)

Вероятностный метод оценки того, когда могут произойти события будущего. Метод связывает промежуточные технологические шаги в сеть причин и следствий. Для этих связей оценивается вероятность, позволяющая сделать предположение о возможной дате появления технологии. Использование метода возможно для количественных оценок того, когда технологии могут стать доступными и в исследовании связанных политических и социально-экономических вопросов и проблем.

Сильные стороны:

- может иметь дело со множеством промежуточных связей;
- полезен для анализа отдельных, но связанных технологических разработок с общими элементами;
- показывает базовый и альтернативные варианты решений об инвестициях.

Недостатки:

- затратный по времени и ресурсам;
- сложный;
- требует экспертизы и обучения;
- часто необходимо сложное программное обеспечение.

ТРИЗ (Теория решения изобретательских задач) (TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving))

ТРИЗ – это методология, набор инструментов и база знаний для генерирования инновационных идей и решений.

Использование возможно в следующих сферах:

- системный анализ;
- анализ неисправностей;
- паттерны системной эволюции;
- решение проблем производства;
- создание новых продуктов.

Сильные стороны:

- могут решаться как известные, так и неизвестные типы проблем;
- алгоритмический подход к изобретению новых систем и оптимизации старых.

Недостатки:

- сложный;
- затратный по времени;
- требует обучения и/или упрощения.

Метод Дельфи (Delphi Method)

Дельфи – один из самых часто используемых методов форсайта. Это способ структурирования групповой коммуникации для работы со сложными проблемами.

¹²¹Changes in the Future Use and Characteristics of the Automobile Transportation System —Volume II Technical Report // Office of Technology Assessment (Washington, DC: Congress of the United States, 1979). <https://www.princeton.edu/~ota/disk3/1979/7919/791906.PDF> (Просмотрено 01.08.2016)

Дельфи-исследования – это структурные опросы экспертов, генерирующие качественные и количественные данные.

Сильные стороны:

- позволяет выработать быстрый консенсус;
- позволяет избегать группового мышления;
- имеет высокий уровень формализации;
- дает психологические эффекты,

стимулирующие более глубокие размышления о будущем;

- дает легко операционализируемый результат;
- возможно виртуальное/удаленное участие;
- может работать с разными типами вопросов.

Недостатки:

- основан на традиционной идее экспертизы;
- сложный и длительный;
- дорогой;
- не рассматривает взаимовлияние сфер;
- лидеры групп могут исказить результат;
- может игнорировать отдельные мнения;
- эксперты могут «выпадать» на вторых и

третьих этапах опроса;

- может не найти решение для спорных

моментов, при этом консенсус может быть искусственным.

Примерами использования Дельфи для форсайтов являются исследование возможностей региональной политики в сфере ИКТ в Латинской Америке¹²² и форсайт науки и технологий в Японии (см. далее).

Анализ взаимного влияния (Cross-impact analysis)

Эта группа техник представляет собой подход к последовательной оценке вероятностей наборов событий. Он подразумевает определение и оценку воздействия трендов и событий друг на друга с использованием матриц. Часто используется как часть исследований экспертного мнения.

Целевая аудитория включает экспертов из промышленности, университетов, исследовательских групп и правительства.

Сильные стороны:

- не требует специальных навыков;
- оценивает зависимость и взаимосвязь между

вопросами.

Недостатки:

• может быть затратным по времени, если требуется несколько итераций или матрица слишком велика;

- ограничен только парными взаимосвязями.

Экспертные панели (Expert panel)

В основе метода – получение ответов на

¹²²Hilbert M. et al. Foresight tools for participative policy-making in inter-governmental processes in developing countries: Lessons learned from the eLAC Policy Priorities Delphi // Technological Forecasting and Social Change 76, no. 7 (2009): 880–896. http://www.martinhilbert.net/Hilbert_et al.eLACdelphi.pdf (Просмотрено 01.08.2016)

¹²³Lintonen T. et al. Drugs foresight 2020: a Delphi expert panel study // Substance Abuse Treatment, Prevention, and Policy 9, no. 1 (2014): 18. <http://doi.org/10.1186/1747-597X-9-18> (Просмотрено 01.08.2016)

¹²⁴European Crop Protection in 2030, ENDURE's foresight study funded by European Commission // ENDURE <http://www.endure-network.eu/content/download/5736/44220/file/ENDURE%20Foresight%20Study.pdf> (Просмотрено 01.08.2016)

¹²⁵Heyne G., Geurts J., Vermass J. DIAGNOST: a microworld in the healthcare for elderly people // Conference proceedings of The 12th International Conference of the System Dynamics Society, 1994, Stirling, Scotland. http://www.systemdynamics.org/conferences/1994/proceed/papers_vol_1/heyne058.pdf (Просмотрено 01.08.2016)

¹²⁶Kahan J., Greenwood P., Peter Rydell P., William Schwabe W., Williams B. Can Gaming of Social Policy Issues Help Translate Good Intentions into Change? // RAND Issue Paper IP-122-DPRC (1993). http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/issue_papers/2006/IP122.pdf (Просмотрено 01.08.2016)

исследовательские вопросы от определенной группы экспертов и известных людей (часто анонимно). Основное преимущество экспертных панелей заключается в том, что различные типы акторов, обычно не контактирующие друг с другом, собираются вместе, что создает условия для всеобъемлющего подхода. Тем не менее, есть множество проблемных моментов в проведении экспертных панелей: подавление участников одним из лидеров обсуждения; нежелание участников принимать на себя обязательства в связи со своими высказываниями; нежелание менять позицию в том случае, если она была озвучена. Кроме того, метод довольно затратный по времени и ресурсам. Техника использовалась, например, Европейской комиссией для форсайта в фармацевтической¹²³ и сельскохозяйственной сфере¹²⁴.

Моделирование, симуляция, игра (Modelling, simulation and gaming)

Метод помогает лицам, принимающим решения, увидеть заранее результаты их политики. Множество переменных могут быть представлены графически и в динамике.

Сильные стороны:

- высвобождает креативность участников;
- помогает описать поведение сложных систем в безопасной и динамичной среде;
- основывается на предопределенной структуре и имеет сформированный набор правил для каждой итерации.

Недостатки:

- понимание правил их ограничений играет большую роль для получения полезных результатов;
- если это не совсем простая модель, то требует больших затрат времени и ресурсов.

Метод использовался корпорацией RAND¹²⁵ и Правительством Нидерландов¹²⁶.

Многоуровневый причинный анализ (Causal Layered Analysis)

Деконструкция нарративов стейкхолдера по поводу вопроса или стратегического варианта. Многоуровневый причинный анализ определяет движущие силы и взгляды на различные перспективы будущего, их значение для различных групп. Метод особенно полезен, когда разные группы придерживаются разных взглядов на будущее организации и стратегию.

Использование возможно в следующих ситуациях:

- оспаривание традиционных идей о будущем;
- разработка общей организационной стратегии;
- упрощение мультикультурного диалога;
- разработка различных видов продуктов, услуг;
- пересмотр политики.

Сильные стороны:

- кооперативный и позволяет вовлекать широкий спектр участников;
- легко интегрируется с другими методами форсайта;
- формирует общее видение и предпочтительное будущее;
- связывает кратко-, средне-, и долгосрочные стратегии.

Недостатки:

- требует, чтобы участники имели желание делиться своими взглядами на работу организации;
- необходимо комбинировать с другими методами форсайта, чтобы сгенерировать сценарии будущего.

Метод использовался для формирования политики в области сельского хозяйства в Австралии¹²⁷ и трансформаций в университетах Малайзии¹²⁸.

Поисковая конференция (Search Conference)

Поисковая конференция – это коллективный метод планирования, позволяющий проектировать желаемое будущее. Участники конференции становятся планирующим сообществом.

Использование:

- стратегическое планирование и основа для политики;
- создание новой системы управления зарождающимися или отрицаемыми вопросами;
- рационализация конфликтов в стратегическом контексте, нахождение общей почвы;
- запуск новых направлений и стратегий;
- развитие или реформирование сообществ, организаций или промышленности.

Сильные стороны:

- генерирует консенсус и общие ценности, объединяя людей с разным опытом и взглядом на социальные проблемы;
- разрабатывает креативные и достижимые стратегии;
- формирует обязательства по отношению к разрабатываемым стратегиям.

Недостатки:

- признает конфликты и различия, но не имеет подхода, позволяющего с ними напрямую работать;
- может быть сложным логистически;
- затратный по времени.

Если говорить о практике применения различных методов форсайта в мире, то в Европе форсайты делают акцент как на ожиданиях, так и на формировании будущего через координируемое управление и принятие решений. Здесь происходит все большая институционализация, например, в рамках Европейской форсайт-платформы и Международной академии форсайта. В Северной Америке и Южной Европе наиболее распространено использование методологии ключевых технологий. В Латинской Америке развивается собственный подход, связанный с недостатком ресурсов. Он подразумевает особую систему менеджмента и активное использование онлайн-инструментов¹²⁹.

Обзор зарубежных кейсов форсайт-исследований

Научный и технологический форсайт: вклад науки и технологий в будущее общество (Япония)

Японский «Научный и технологический форсайт: вклад науки и технологий в будущее общество» (Science and Technology Foresight Contribution of Science and Technology to Future Society) проводится Национальным институтом научной и технологической политики (National Institute of Science and Technology Policy) по заказу Министерства образования, культуры, спорта, науки и технологий Японии. Форсайты в Японии проводятся с 1971 года, последний из которых – в 2015 году. Общая задача форсайта – определить, что нужно делать уже сегодня, чтобы достичь целей и ответить на глобальные и национальные вызовы. Задача исследования: прояснение политик, необходимых для проведения в сфере науки, технологий и инноваций, чтобы иметь возможность отвечать на будущие вызовы.

В рамках форсайта широкая дискуссия организуется на «нешаблонной» основе (out-of-the-box) с фокусом на научных и технологических направлениях, способствующих ответу на глобальные и национальные вызовы. В предпоследнем форсайте были организованы кросс-секторальные панели, что способствовало междисциплинарной дискуссии. В рамках панели определялись темы и вопросы и анализировались результаты. Панели были организованы по следующим тематикам:

- международное сотрудничество;
- безопасность;
- защищенность;
- международная конкурентоспособность.

Основные методики:

- опрос Дельфи, основанный на междисциплинарности и целях общества будущего;
- написание сценариев на основе нескольких

¹²⁷Bishop B., Dzidic P., Breen L. Multiple-level Analysis as a Tool for Policy: An Example of the Use of Contextualism and Causal Layered Analysis // Global Journal of Community Psychology Practice 4, no. 2 (June 2013).

¹²⁸Inayatullah S. Malaysian Universities in Transformation // Journal of Futures Studies 17, no. 2. 2012. P. 111-124. <http://www.jfs.tku.edu.tw/17-2/R01.pdf> (Просмотрено 01.08.2016)

¹²⁹Strategic foresight for the post-2015 development agenda // United Nations Economic and Social Council http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ecn162015d3_en.pdf (Просмотрено 02.03.2017)

методов определения пути к желаемому будущему;

- региональные дискуссии для устойчивости региональных сообществ.

Основные характеристики подхода:

- ориентация на цель;
- междисциплинарность.

К участию приглашались эксперты из социальных и естественных наук (135 экспертов).

Процедура японского форсайта науки и технологий состоит из трех основных этапов:

Этап 1:

1. Перспективы общества будущего:
 - анализ трендов и мегатрендов;
 - глубинный анализ проблем будущего;
2. Определение потребностей будущего.

Этап 2.

1. Определение технологий будущего;
2. Опрос Дельфи и анализ:
 - он-лайн опрос в два раунда;
 - анализ технологических и социальных

аспектов;

• выводы для политики в сфере науки и технологий.

Этап 3.

Создание иллюстраций и сценариев будущего:

- иллюстрации и сценарии в 13 сферах;
- оценка возможных негативных эффектов

будущих технологий.

Исследование определило вызовы для общества Японии:

- ведущий игрок на научно-технологической арене;
- устойчивый рост через зеленые инновации;
- успешная модель общества здорового долголетия;
- безопасная жизнь.

Выделены вопросы, имеющие ключевую важность для ответа на мировые и национальные вызовы. В качестве примера можно привести список ключевых вопросов в области медицины:

- применение бионанотехнологий;
- безопасность лечения;

• лечение (метаболические и психиатрические заболевания);

• создание новых медицинских технологий;

• развитие предиктивной и превентивной медицины.

Для первых четырех форсайтов (1971, 1976, 1981 и 1986) в 2004 г. была проведена оценка, выявившая, что, например, в области медицины в 1971 г.

реализация тем составила 27% (еще 54% – частично реализованы), в 1986 г. всего 4% (еще 67% – частично).

Изначально метод Дельфи, на котором строились форсайты, критиковался за неучет потребностей и запросов со стороны общества. Как следствие, одна из рекомендаций, полученных на основе анализа проведенных форсайтов – необходимость большей «ориентации на миссию»¹³⁰.

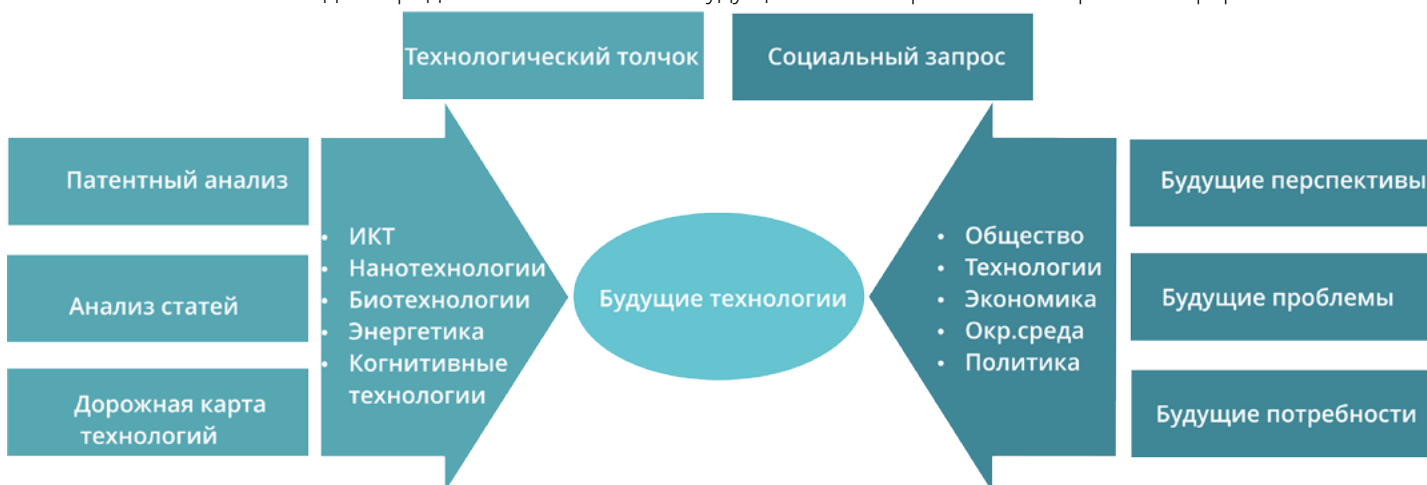
В отношении японского форсайта также отмечается, что он оказывает все большее влияние на политику Японии в научно-технологической области¹³¹.

Форсайт и будущая стратегия для науки и технологий (Южная Корея)¹³²

Форсайт и будущая стратегия для науки и технологий (Foresight and Future Strategy for Science & Technology) проводится в Южной Корее каждые пять лет с целью определения долгосрочной стратегии для науки и технологий. Форсайт определяет ключевые технологии для включения в Национальную долгосрочную стратегию развития науки и техники. В рамках четвертого (последнего) форсайта в опросе Дельфи приняли участие 6 248 человек (5 450 на втором этапе). Было определено 652 ключевых технологии, которые должны появиться до 2035 г. Они затем прошли оценку в правительственных органах, ответственных за исследования и разработки, в результате чего были определены 120 национальных стратегических технологий. Потребности и проблемы в здравоохранении, выявленные третьим Форсайтом:

- предотвращение сложно излечимых болезней;

Методы определения технологий будущего в четвертом южнокорейском форсайте



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Moonjung C. (2015)

¹³⁰Okuwada K. Toward a new type of science and technology foresight http://www.augurproject.eu/IMG/pdf/AUGUR_okuwada1.pdf (Просмотрено 28.02.2017)

¹³¹Cuhls K. Lessons for policy-making from Foresight in NonEuropean Countries https://ec.europa.eu/research/innovation-union/pdf/expert-groups/rise/cuhls-lessons_policy_making.pdf (Просмотрено 28.02.2017)

¹³²Moonjung Ch., Han-Lim Ch. Foresight for Science and Technology Priority Setting in Korea // Форсайт. 2015. №3 (eng) С.54–65.

- гериатрические заболевания;
- хронические заболевания;
- инфекционные заболевания;
- искусственные органы;
- альтернативная медицина;
- применение биотехнологий;
- вторичные инфекции в госпиталях;
- система поддержания здоровья;
- безопасная для человека еда и предметы потребления;
- безопасная для окружающей среды еда и предметы потребления.

Для корейского форсайта 1993–1994 также проводились исследования уровня реализации. Процент реализации составил 42,4 (72,2 %, если считать частичную реализацию)¹³³.

Будущее технологий и инноваций: возможности для роста Великобритании в 2020-х¹³⁴

Великобритания проводит форсайты в различных сферах с 1990-х гг. Как и в Японии и Германии, британские форсайты часто носят циклический характер. Например, форсайт «Будущее технологий и инноваций: возможности для роста Великобритании в 2020-х» проводился Правительственным департаментом науки (Government Office for Science) дважды в 2010 и 2012 гг. для определения научных и технологических сфер, которые могут преобразить экономику Великобритании в ближайшие 20 лет. Форсайт 2012 г. был призван уточнить обозначенные на первом этапе технологии. Процедура включала опрос 15 исследователей и 23 экспертов от промышленности, а также 180 участников предыдущего форсайт-исследования. Была проведена переоценка 53 технологий, предложенных в рамках предыдущего раунда, и были добавлены три новых темы. В качестве результата форсайта были выделены потенциальные зоны роста, например, в биотехнологическом и фармацевтическом секторе:

1. геномика, протеомика, эпигенетика;
2. нуклеиновые кислоты;
3. синтетическая биология;
4. персонализированная медицина;
5. стволовые клетки;
6. регенеративная медицина и тканевая инженерия.

Исследователи, проводившие различные форсайт-исследования для правительства Великобритании, приводят следующие сильные стороны своей работы:

- высокий уровень добровольного участия;
- широкая поддержка и политические обязательства;
- приняты широкие приоритеты;
- формирование полезных сетей;

- форсайт стал лучше восприниматься как инструмент;
 - британская модель легла в основу некоторых зарубежных исследований.
- В то же время выделяется ряд проблем:
- недостаток времени;
 - недостаток технической поддержки, проблемы коммуникации и координации;
 - склонность к технологическим решениям (technical fix solutions) (несмотря на это, определено много социальных ограничений и вопросов);
 - руководителям экспертных групп не хватало времени для выполнения обязательств;
 - не хватает базовой методологии: произошло снижение строгости подхода;
 - все еще требуется жесткая оценка¹³⁵.

Стратегические форсайт для третьей стратегической программы Horizon 2020 (ЕС)¹³⁶

Европейская Комиссия издала в 2015 г. документ «Стратегические форсайт для третьей стратегической программы». Целью исследования была поддержка реализации программы Horizon 2020, и, в частности, подготовка третьей стратегической программы на период 2018–2020. В исследовании делается обзор существующих признаков будущего, которые используются для разработки видения будущих изменений. При подготовке было проведено три однодневных семинара: один фокусировался на ключевых драйверах изменений; второй разрабатывал будущие сценарии для программы Horizon 2020; третий исследовал возможные последствия появляющихся изменений для программы. Итоговое исследование включает в себя описание мегатрендов и ключевых драйверов изменений, четыре возможных сценария будущего, и последствия, в том числе их следующие аспекты: социальные изменения и вызовы, устойчивость, инновационность и конкурентоспособность, пространства для радикальных возможностей. В отчете рассматриваются следующие потенциально важные для программы Horizon 2020 вопросы: гиперподключенность и большие данные как двигатели изменений и инноваций; падение стоимости энергии как причина изменений правил игры; миграция и изменение демографической ситуации как важный фактор инноваций в Европе; здоровье как основной драйвер ожиданий от исследований и инноваций; изменение климата, океан и космос как проекты, важные для всего человечества; биотехнологии как следующая волна прорывных технологий; нестабильность как новая норма глобального общества и т.д. В качестве недостатка форсайтов, проводимых Европейской Комиссией, выделяют

¹³³Mete Yazan A. Methods Used in Future Technology Analysis and its Selection: an application to VTOL transportation system https://run.unl.pt/bitstream/10362/19187/1/WPSeries_03_2016ABYazan.pdf (Просмотрено 01.03.2017)

¹³⁴Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s– 2012 Refresh // Foresight and the Government Office for Science https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/288562/12-1157-technology-innovation-futures-uk-growth-opportunities-2012-refresh.pdf (Просмотрено 27.02.2017)

¹³⁵Miles I. <http://www.nistep.go.jp/IC/ic030227/pdf/s3-1.pdf> Ten Years of UK Technology Foresight <http://www.nistep.go.jp/IC/ic030227/pdf/s3-1.pdf> (Просмотрено 01.03.2017)

¹³⁶Strategic Foresight: Towards the 3rd Strategic Programme of Horizon 2020 // European Commission http://www.regionvarmland.se/wp-content/uploads/2016/03/KI0215938ENN_002.pdf (Просмотрено 28.02.2017)

непредставленность социально-экономических и гуманитарных сфер (кроме старения и миграционных вопросов)¹³⁷.

Форсайт Федерального министерства образования и исследований Германии¹³⁸

Германия с 1991 года проводит форсайты для поддержки своей политики. Задача форсайта – выявить релевантные ранние разработки, интерпретировать их и определить, как они могут быть использованы в текущей научно-технологической политике. В работе используется циклический подход, переключающийся между «технологическим толчком» и «давлением спроса». «Технологический толчок» фокусируется на определении подходящих возможностей применения для технологических инноваций. При исследовании, основанном на «давлении спроса» цель – выделить конкретные потребности из набора вызовов, чтобы разработать для них долгосрочные, устойчивые решения.

3 фазы цикла (цикл – 2 года):

1. Фаза исследований и анализа. Новые научные темы разрабатываются в определенных исследовательских областях. Исследование фокусируется на будущих вызовах на национальном и мировом уровне, отслеживает доминирующие и скрытые тренды, моделирует результаты. Собранная информация суммируется и оценивается, делаются выводы. На этапе исследований и анализа в разное время использовались инструменты брейнсторминга, опросов, семинаров и конференций;

2. Внутренняя оценка и включение в работу Федерального министерства образования и исследований Германии и других государственных учреждений, например, формирование долгосрочной программы инновационной политики. В рамках этой фазы результаты форсайта могут проходить международный мониторинг и проверку качества;

3. Фаза рефлексии для подготовки следующего цикла форсайта.

Используемая методология, таким образом, постоянно обновляется.

Примерный горизонт перспективы – 10–15 лет¹³⁹.

Форсайт привлекает внимание к потенциальным разработкам и возможностям, раскрывает потенциальные исследовательские сферы, поддерживает экономическое развитие Германии, делает вклад в качество жизни, закладывает основу для конкурентоспособности Германии, способствует сохранению ресурсов и защите окружающей среды. Форсайт обеспечивает информационную поддержку принятия решений о долгосрочных действиях в сфере научной и инновационной политики.

Исследователи отмечают следующие недостатки и достоинства немецкой методологии:

- слишком сложная структура процесса и недостаточное вовлечение спонсоров в качестве недостатка;
- высокая эффективность в разработке видения, особое внимание (и финансирование) междисциплинарности как преимущество¹⁴⁰.

Комбинация методов форсайта Федерального министерства образования и исследований Германии



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Cuhls K. (2010)

¹³⁷Spiesberger M. et al. Linking Russia to the ERA: Coordination of MS/AC' S&T programmes towards and with Russia http://www.era.net-rus.eu/_media/D_4.1_ERA.Net_RUS_Foresight_report_and_annex_final.pdf (Просмотрено 01.03.2017)

¹³⁸Background to BMBF Foresight // Federal Ministry of Education and Research <https://www.bmbf.de/en/background-to-bmbf-foresight-1445.html> (Просмотрено 28.02.2017)

¹³⁹Cuhls K. The German BMBF Foresight Process // EFP Brief No. 174 http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2011/01/EFP-Brief-No.-174_German-BMBF-Foresight.pdf (Просмотрено 1.03.2017)

¹⁴⁰Poteralska B., Sacio-Szymańska A. Evaluation of technology foresight projects // Eur J Futures Res (2014) 2: 26. doi:10.1007/s40309-013-0026-1

Кроме того, на первых порах были проблемы с организацией исследований. Так, в 1999 году при первой попытке создать интернет-платформу для форсайта, министерство сочло, что достаточно обеспечить платформу и некоторые вводные замечания по темам исследования, однако потерпело неудачу, поскольку слишком мало людей знало об этом процессе, а темы для дискуссии не были достаточно хорошо определены. Ранние исследования также критиковались за то, что в них были вовлечены только эксперты¹⁴¹.

Отмечается, что результаты как таковые не привели напрямую к формированию приоритетов, но, тем не менее, многие компании и само министерство использовали исследование как ориентир. Исследователи, проводившие форсайт, выделяют дополнительные результаты работы: образовательный эффект (learning effect), позволивший участникам свободно использовать полученную информацию в своих лабораториях, распространение информации о крупных проектах в науке и технологиях¹⁴².

Таким образом, можно видеть эволюцию и постепенное распространение форсайт-исследований в мире. Произошел переход от исследований, учитывающих исключительно развитие технологий, к подходам, делающим также акцент на социальных вопросах и запросах. Произошли также значительные изменения в коммуникативных и вычислительных возможностях, наметился переход от идеи сбора суждений нескольких специалистов к модели множества взаимодействующих людей, стремящихся сформировать будущее, размывая границу между исследованием и принятием решений¹⁴³. Спектр участников, вовлекаемых в форсайт, расширяется: не только эксперты, но и другие стейкхолдеры становятся участниками процесса. Мир уходит от отдельных методов и подходов, заменяя их комбинациями, наиболее подходящими к поставленной перед форсайтом задаче.

¹⁴¹Georghiou L. The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice. Edward Elgar Publishing 2008. P.136

¹⁴²Cuhls K. Development and Perspectives of Foresight in Germany // KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft https://www.tatup-journal.de/tatup032_cuhl03a.php (Просмотрено 01.03.2017)

¹⁴³Mete Yazan A. Methods Used in Future Technology Analysis and its Selection: an application to VTOL transportation system https://run.unl.pt/bitstream/10362/19187/1/WPSeries_03_2016ABYazan.pdf (Просмотрено 01.03.2017)

П Р И Л О Ж Е Н И Е 4

Ключевые доклады о развитии биомедицинских исследований

Стратегический план Национальных институтов здоровья США на 2016–2020 год: превращая открытия в здоровье (The National Institutes of Health, 2015 г.)

NIH-Wide Strategic Plan Fiscal Years 2016–2020 Turning Discovery Into Health

Национальные институты здоровья (НИН) – ведущие учреждения в США, отвечающие за биомедицинские исследования. Программа, предложенная Институтами, будет определять распределение государственного финансирования на научные проекты в сфере биомедицины. Документ ставит исследовательские цели и делает предсказания относительно будущего развития биомедицинских исследований в США.

Некоторые предсказания о будущем здравоохранения к 2020 году:

- развитие персональной медицины позволит выжить тысячам пациентов с раком;
- достигнет этапа клинических испытаний вакцина, генерирующая иммунный ответ для множества штаммов вируса гриппа – критически важный шаг в сторону универсальной вакцины от гриппа;
- базовые клинические испытания вакцины от СПИДа, начало которых ожидается в 2016 г. в Южной Африке, покажут как минимум 50% защиту от развития заболевания;
- радикально новые методы структурной биологии перевернут скрининг и оптимизацию лекарств;
- применение технологий мобильного здоровья (mHealth) обеспечит основания для использования в профилактике заболеваний и поддержке здорового образа жизни;
- технологии борьбы с параличом и восстановления нормальной функции спинного мозга будут доступны для пациентов с травмами позвоночника;
- вакцина против респираторного синцитиального вируса выйдет на этап полевого тестирования эффективности, что решит проблему детской пневмонии.

Лучшие исследования для лучшего здоровья: взгляд на здоровье и биомедицинские исследования (Научный совет по здоровью Европейской Комиссии, 2016 г.)

Better Research For Better Health A vision for health and biomedical research // European Commission's Scientific Panel for Health

Научный совет по здоровью основан на процедурах Специальной программы Horizon 2020 с целью достижения лучшего здоровья и благополучия в мире.

Научный совет по здоровью основными вызовами называет: психическое здоровье и нейродегенеративные заболевания, определяя при этом возможности для решения и области перспективных направлений исследований. Так, разнообразие и многопоколенность населения потребует специального возрастного подхода с акцентом на здоровье детей. Такой подход с упором на анализ «больших данных» открывает новые возможности для борьбы с приобретенными заболеваниями, зависящими от образа жизни. Большие данные и прорывные технологии потребуют внедрение новых моделей исследования и новое поколение высококвалифицированных исследователей, способных к междисциплинарной работе. Также указывается на необходимость разработки правовой и этической основы, обеспечивающей взаимнообмен данными и гарантирующей научные открытия без препятствий.

Здравоохранение и науки о жизни: предсказания 2020. Смелое будущее (Центр решений для здоровья, Deloitte, 2014 г.)

Health care and Life Sciences prediction 2020. Bold Future

Центр решений в сфере здоровья – подразделение Deloitte UK – ведущей мировой консалтинговой организации, предоставляет лидерские решения на основе ключевых трендов, вызовов и возможностей в сфере здравоохранения и наук о жизни.

Предсказания и тренды в биомедицине по версии Deloitte:

- к 2018 году минимум 10% населения будет старше 65 лет, что потребует внедрения новых подходов и решений в области здравоохранения;
- внедрение нового формата медицины 4P – предсказательная, профилактическая, персонализированная, партисипаторная (основанная на взаимодействии с пациентом);
- R&D-модели будут предполагать обязательную работу с большими данными, а основная масса исследований в сфере биомедицины будет носить сетевой характер;
- в операциях повсеместно будут использоваться роботы и 3D-визуализация. Произойдет «цифровизация» медицины;
- появится новое поколение носимых биосенсоров, интегрированных, умеющих взаимодействовать между собой, способных извлекать нужную информацию из медицинской литературы.

Третья революция: Конвергенция наук о жизни, физических и инженерных наук (Массачусетский технологический институт, 2011 г.)

The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering // MIT

Доклад показывает, как конвергенция наук создает инновации, способные обеспечить потребность в доступной и персонализированной медицине. Авторы перечисляют сферы биомедицинских исследований, в которых конвергенция может дать наибольший эффект:

- исследования в сфере иммунитета;
- неврологические исследования;
- исследования по борьбе с развитием слепоты;
- целевая доставка химиотерапии и диагностирование рака;
- вакцина от СПИДа.

В докладе также дается ряд организационных рекомендаций:

- создать экосистему, способствующую конвергентным исследованиям;
- пересмотреть процесс оценки проектов, подающих заявку на грант, в пользу междисциплинарности;
- создать систему обучения, способствующую появлению нового поколения ученых, способных заниматься конвергентными исследованиями.

О Фонде «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» (ЦСР «Северо-Запад») – независимый общественный институт. Деятельность Фонда заключается в проведении стратегических исследований и выработке экспертных рекомендаций по широкому кругу социально-экономических вопросов.

Фонд был учрежден в Санкт-Петербурге в 2000 году. Учредителями выступили Фонд «Центр стратегических разработок» (Москва), пивоваренная компания «Балтика», ОАО «Телекоминвест», ОАО «Акционерный Банк «РОССИЯ» и ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт «Гранит». Фонд создавался с целью содействия развитию северо-западных субъектов Российской Федерации и обеспечения стратегических преимуществ этого макрорегиона в системе российского и мирового хозяйства.

Впоследствии география проектов Фонда вышла далеко за пределы Северо-Запада. В настоящее время ЦСР «Северо-Запад» имеет опыт исследовательской и консультационной работы более чем в 60 городах и регионах России. Также Фонд активно развивает международные контакты. Среди партнеров Фонда – организации из таких стран, как Казахстан, Финляндия, Южная Корея, КНР, Япония, Латвия, Эстония.

Работа Фонда в первую очередь адресована лицам, принимающим стратегические решения и несущим ответственность за их реализацию, а также экспертно-консультационным и проектным группам.

Партнерами Фонда являются федеральные министерства и ведомства, региональные и муниципальные органы власти, общественные и научные организации, бизнес-структуры.

Контакты: 199106, Санкт-Петербург, 26-я линия В.О., д. 15, корп. 2, лит. А, тел.: +7 (812) 380-03-20, факс: +7 (812) 380-03-20 (доб. 136), e-mail: mail@csr-nw.ru

О Федеральном агентстве научных организаций

Федеральное агентство научных организаций (ФАНО России) является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по нормативно-правовому регулированию и оказанию государственных услуг в сфере организации деятельности, осуществляемой подведомственными организациями, в том числе в области науки, образования, здравоохранения и агропромышленного комплекса, а также по управлению федеральным имуществом организаций, подведомственных Агентству. Агентство осуществляет функции и полномочия учредителя и собственника федерального имущества, закрепленного за подведомственными ему организациями. Руководство деятельностью ФАНО России осуществляет Правительство Российской Федерации.

Контакты: 119334, Москва, Ленинский проспект, д. 32а, тел.: +7 (499) 215-38-03, факс: +7 (495) 668-61-45, e-mail: info@fano.gov.ru

ISBN 978-5-9909736-0-2



9 785990 973602