

2050

2040

2030

2020



Лазерные технологии



Астрофизика



Радиоэлектроника



Робототехника и интеллектуальные системы



Медицина

Будущее науки

Горизонты науки глазами ученых



Санкт-Петербург
2016

Будущее науки. Горизонты науки глазами ученых/ Под редакцией В.Н. Княгинина, М.С. Липецкой, Т.Н. Трубниковой - СПб.: Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», 2016 - 97 с.

Издание представляет собой доклад по итогам форсайт-сессии «Будущее науки». В работе рассмотрены мировые тенденции научно-технологического развития в астрофизике, медицине, робототехнике, радиоэлектронике и лазерных технологиях.

В.Н. Княгинин – Научный руководитель

М.С. Липецкая – Руководитель рабочей группы

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

О докладе

Доклад посвящен вопросам актуальных вызовов и тенденций развития мировой науки, приоритетам инновационной политики. Цель доклада – стимулировать размышления о быстрых и обширных изменениях, характеризующих области науки сегодня и возможные глобальные траектории их развития на период до 2050 г.

Доклад адресован государственным институтам, представителям бизнеса, научно-исследовательским школам. Предполагается, что доклад стимулирует диалог о тенденциях, с которыми будут сталкиваться выбранные научные области в ближайшие 25–30 лет.

Астрофизика

- Для научно-исследовательских школ: перспективные направления исследований – развитие междисциплинарных исследований.
- Для бизнеса: трансформация авиакосмического производства.
- Для государства: финансирование исследований авиакосмического машиностроения, изучения экзопланет, изучения природы и происхождения Вселенной.

Медицина

- Для научно-исследовательских школ перспективными направлениями исследования являются следующие: исследование возможностей мозга, генетика, биопечать.
- Для бизнеса: возникающие демографические тенденции будут стимулировать развитие технологий, бизнес-моделей и социальных инноваций, создавая возможности для предпринимательской деятельности.
- Для государства: слом системы здравоохранения, цифровизация здравоохранения, означающая необходимость адаптировать медицинский персонал к новой роли наставника; необходимость регулировать конфиденциальность персональных данных; регулирование законодательства в сфере 3D-печати фармацевтических препаратов.

Робототехника

- Для научно-исследовательских школ: смена акцента исследований в сторону мультидисциплинарных; формирование научной базы для разработки новых вычислительных алгоритмов и усложнение объектов для вычислений.
- Для бизнеса: кардинальная трансформация производственных процессов, связанная с автоматизацией.
- Для государства: повсеместное внедрение робототехники в повседневную жизнь, вероятно, приведет к трансформации рынка труда – постепенному вытеснению человека из ряда профессий и созданию ряда качественно новых профессий. Кроме того, возможны радикальные изменения в обществе, влекущие за собой необходимость разработать новое законодательство для представления интересов роботов.

Радиоэлектроника

- Для научно-исследовательских школ: смена тематики, поиск принципиально иной элементной базы; перенос акцента на исследования радиофотоники, графена.
- Для бизнеса: возможности для предпринимательской деятельности, связанной с разработкой носимых технологий и кардинальным изменением производства (переходом от крупных производственных комплексов к изготовлению электронного оборудования с помощью аддитивных технологий); поиск способов минимизировать вред для окружающей среды при производстве и применении графена.
- Для государства: финансирование исследований радиофотоники, применения графена.

Лазерные технологии

- Для научно-исследовательских школ: перенос акцента исследований в сторону медицинских, а также вычислительных технологий.
- Для бизнеса: разработка программного обеспечения под потребности отрасли.
- Для государства: финансирование исследований радиофотоники, кремниевой фотоники.

Содержание

Каждый раздел содержит:

- описание основных трендов развития научной области;
- анализ динамики публикационной активности с 1990 г.;
- семантический анализ высоко цитируемых статей Web of Science



Астрофизика



Лазерные технологии



Медицина



Радиоэлектроника



Робототехника и
интеллектуальные
системы

Оглавление

О докладе	2
Содержание	3
Оглавление	4
Описание методологии	5
Описание сессии «Будущее науки».....	5
Анализ источников.....	6
Выбор научных областей.....	7
Астрофизика	9
Основные вызовы области.....	9
Основные тенденции развития астрофизики.....	12
Анализ динамики публикационной активности по тематике «Астрофизика».....	17
Лазерные технологии	21
Основные вызовы области.....	21
Основные тенденции развития лазерных технологий.....	24
Анализ динамики публикационной активности по тематике «Лазерные технологии».....	27
Медицина	31
Основные вызовы области.....	31
Основные тенденции развития медицины.....	34
Анализ динамики публикационной активности по тематике «Медицина».....	43
Радиоэлектроника	47
Основные вызовы области.....	47
Основные тенденции развития радиоэлектроники.....	50
Анализ динамики публикационной активности по тематике «Радиоэлектроника».....	55
Робототехника и интеллектуальные системы	59
Основные вызовы области.....	59
Основные тенденции развития робототехники и интеллектуальных систем.....	62
Анализ динамики публикационной активности по тематике «Робототехника».....	74
Заключение	78
Библиография	79
Приложение	84
Ф. Тетлок, Д. Гарднер «Суперпрогнозирование. Искусство науки и предсказания» (Philip E. Tetlock, Dan Gardner “Superforecasting. The Art of Science and Prediction“).....	84
О Фонде «Центр стратегических разработок»	95
О Фонде «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»	96
О Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого	97

Описание методологии

При формировании отчета применялся широкий спектр методов форсайт-прогнозирования, включающий:

- форсайт-сессию в формате мозгового штурма;
- анализ дорожных карт соответствующих областей, как национальных (направленных на развитие науки в стране), так и дорожных карт организаций – лидеров мнений;
- наукометрию, в том числе семантический анализ статей;
- анализ трендов;
- интервью;
- прогноз визионера.

Описание сессии «Будущее науки»

Сессия проводилась 12 февраля 2016 г. Мероприятие было организовано Центром стратегических разработок «Северо-Запад» совместно с Центром стратегических разработок при поддержке Санкт-Петербургского политехнического университета.

К участию были приглашены руководители лабораторий, подразделений, научные сотрудники трех университетов Санкт-Петербурга: СПбПУ, НИУ ИТМО, ГУАП, – а также руководители и научные сотрудники предприятий, специализирующихся в выбранных областях науки.

Работа сессии проходила по группам, разделенным в соответствии с пятью научными и технологическими областями:

- астрофизика;
- лазерные технологии;
- радиоэлектроника;
- робототехника и интеллектуальные системы;
- медицина.

На сессию ставились следующие задачи:

- **определить актуальные вызовы для выделенных научных областей, а также определить научную картину**

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, в ходе которого группы заполняют карточки с условиями, а затем выклеивают карточки на «стрелу времени». Мероприятие было организовано в два шага.

по выделенным областям в 2016 г.:

научный мейнстрим, периферия научного знания, прорывы, фантастические научные теории;

МЕЙНСТРИМ

- направление набирает популярность;
- растут объемы научного знания и привлекаемых ресурсов;
- сформированы устойчивые организационные структуры;
- теории доминируют, лидеры являются авторитетами в научном сообществе.

ПРОРЫВ

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

ПЕРИФЕРИЯ

- направление теряет популярность;
- сформированы устойчивые организационные структуры;
- объемы научного знания и привлекаемых ресурсов неуклонно снижаются;
- снижается эффективность и продуктивность вложений;
- в этой области есть признанные теории и авторитеты.

ФАНТАСТИКА

- научные коллективы сложно отделить от субкультуры, а опытное знание – от магии. Областью интересуются футурологи, поскольку она рождает неожиданные, многообещающие концепты и новые идеи;
- направление еще не способно привлечь существенное финансирование, чтобы сформировать устойчивую финансовую и организационную основу для своей деятельности;
- опытная база, как правило, «не дотягивает» до уровня идей.

- **начертить карту науки в 2050 г.** по выделенным областям, а также определить условия, при которых будут происходить принципиальные изменения научной карты;
- **определить вероятные события** в научном мире и периоды их наступления.

В результате в каждой из групп были сформированы: (1) матрица карты научной области на 2016 г.; (2) таймлайн развития основных событий научной области до 2050 г.

Анализ источников

Для анализа тенденций, зафиксированных на сессии, использовалось более 80 источников информации:

- дорожные карты развития научных отраслей;
- аналитические исследования и прогнозы консалтинговых компаний (PwC, McKinsey, KPMG, Deloitte, Business Insider и др.);
- исследования, прогнозы, материалы организаций – лидеров мнений (NASA, IBM Watson, Singularity University);
- данные базы Web of Science.

МЕЙНСТРИМ

- Дорожные карты;
- Аналитические исследования;
- Прогнозы крупнейших научно-технологических центров.

ПРОРЫВ

Прогнозы авторитетных экспертов:

- Родни Брукс (Rodney Brooks), профессор робототехники MIT, основатель и глава компании Rethink Robotics;
- Стивен Голд (Stephen Gold), вице-президент, директор по маркетингу подразделения и партнерских программ IBM Watson;
- Питер Диамандис (Peter Diamandis), предприниматель, первый исследователь в области инноваций, учредитель и глава Фонда X-Prize, соучредитель и вице-председатель Human Longevity Inc. (HLI);
- Стивен Шимпфф (Stephen C. Schimpff), консультант по здравоохранению, в прошлом – директор Медицинского центра University of Maryland.

ФАНТАСТИКА

Предсказания футуристов:

- Рей Курцвейл (Ray Kurzweil), изобретатель и футуролог, технический директор в области машинного обучения и обработки естественного языка в компании Google, соучредитель Singularity University;
- Джим Кэрролл (Jim Carroll), футурист, эксперт по мировым трендам и инновациям;
- Берталан Меско (Bertalan Mesko), медицинский футурист, основатель и директор портала Webicina.com.

Выбор научных областей

В качестве научных областей для форсайт-прогнозирования были выбраны следующие:

- астрофизика;
- робототехника и интеллектуальные системы;
- радиоэлектроника;
- лазерные технологии;
- медицина.

Научные области, выбранные для форсайта



Выбранные научные тематики представлены в виде пересекающихся кругов. Причина подобного отображения состоит в том, что все области развиваются в сторону

междисциплинарного подхода, и зачастую именно на местах «соприкосновения» создаются (планируются) прорывные теории/технологии:

Некоторые примеры пересечений выбранных научных областей

Медицина/робототехника	<ul style="list-style-type: none">• применение робототехники для хирургии• применение искусственного интеллекта для диагностики• применение нанороботов для диагностики, исследования нейропротезирование
Медицина/электроника	<ul style="list-style-type: none">• применение (био-)сенсоров;• 3D-печать и биопечать
Медицина/астрофизика	<ul style="list-style-type: none">• астробиология для изучения экзопланет
Медицина/лазерные технологии	<ul style="list-style-type: none">• оптогенетика
Астрофизика/робототехника	<ul style="list-style-type: none">• использование робототехники в космических исследованиях применение нанороботов
Астрофизика/лазерные технологии	<ul style="list-style-type: none">• улучшение возможностей телескопов
Робототехника/электроника	<ul style="list-style-type: none">• создание автономного транспорта

Астрофизика

Основные вызовы области

ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Темная энергия и темная материя найдены во Вселенной. Основным вызовом – поиск темной энергии и темной материи в нашей Солнечной системе. Соответственно, необходимо развитие методов высокоточных атомных интерферометров для создания устройств, позволяющих находить гравитационные волны. Для этой цели необходима синхронизация астрофизических данных, для чего требуются сверхвысокоточные эталоны частоты (10^{-18} - 10^{-21}).

ПРОБЛЕМА ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Современное астрофизическое оборудование настолько плодотворно с точки зрения новой информации, что обработка данных требует значительных усилий со стороны информационных технологий.

ПОИСК РАЗУМА ВО ВСЕЛЕННОЙ

Достаточно длительные целенаправленные поиски сигналов внеземных цивилизаций или каких-либо возможных следов их жизнедеятельности не привели к положительному результату. Более того, несмотря на множество астрономических наблюдений, значительный объем информации, до сих пор не было получено ни одной «зацепки» в пользу существования разумной цивилизации за пределами Земли. Этот факт приводит к возможности того, что мир является моделью внутри суперкомпьютера: пока не будет изучен механизм работы компьютера, поиски жизни за пределами Земли не увенчаются успехом.

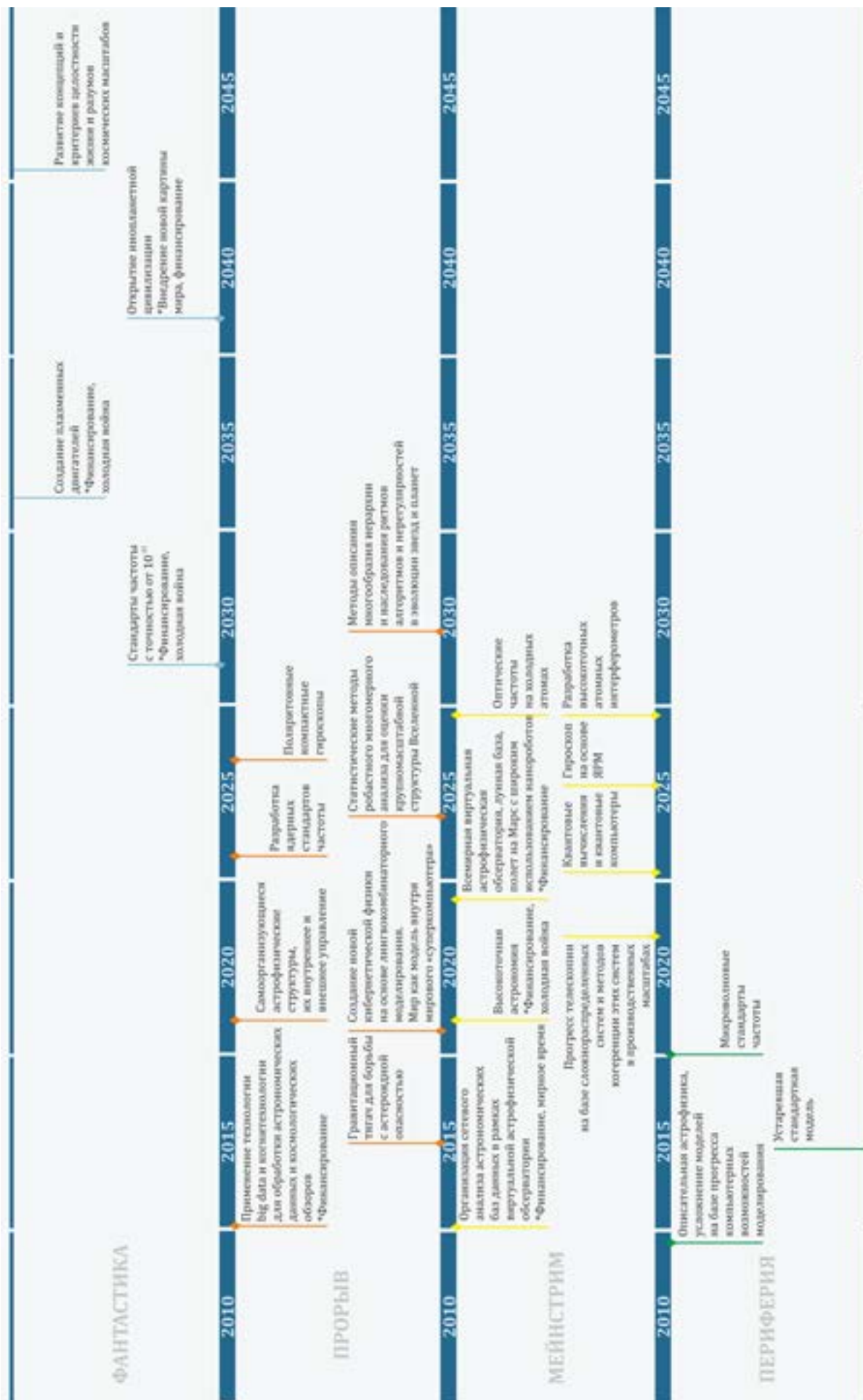


М. Игнатьев: «Майнстрим – прогнозирование космической, атмосферной и литосферной погоды, освоение Луны. Прорыв – открытие темной материи и темной энергии; представление о том, что Вселенная – одна из моделей внутри мирового «суперкомпьютера», что позволяет перейти к конструктивному поиску связей с инопланетными цивилизациями»

МЕЙНСТРИМ		ПРОРЫВ	
Организация сетевого анализа астрономических баз данных в рамках виртуальной астрофизической обсерватории	Всемирная виртуальная астрофизическая обсерватория, лунная база, полет на Марс с широким использованием нанороботов	Применение технологии big data и когнитивные технологии для обработки астрономических данных и космологических обзоров	Самоорганизующиеся астрофизические структуры, их внутреннее и внешнее управление
Квантовые вычисления и квантовые компьютеры	Прогресс телескопии на базе сложнораспределенных систем и методов когеренции этих систем в производственных масштабах	Гравитационный тягач для борьбы с астероидной опасностью	Разработка ядерных стандартов частоты
Гироскоп на основе ЯРМ	Разработка высокоточных атомных интерферометров	Создание новой кибернетической физики на основе лингвокомбинаторного моделирования. Мир как модель внутри мирового суперкомпьютера	Поляритонные компактные гироскопы
Высокоточная астрономия			Статистические методы робастного многомерного анализа для оценки крупномасштабной структуры вселенной
Оптические частоты на холодных атомах			Методы описания многообразия иерархии наследования ритмов, алгоритмов и нерегулярностей эволюции звезд и планет
ПЕРИФЕРИЯ		ФАНТАСТИКА	
Описательная астрофизика, усложнение моделей на базе прогресса компьютерных возможностей моделирования	Микроволновые стандарты частоты	Стандарты частоты с точностью от 10^{21}	Развитие концепций и критериев целостности жизни и разумов космических масштабов
	Устаревшая стандартная модель	Открытие инопланетной цивилизации	Создание плазменных двигателей

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

Астрофизика. Таймлайн точек бифуркации научной карты
 (*указаны условия, при которых произойдет смена вектора и типа развития научной карты)



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

Основные тенденции развития астрофизики

1. Поиск и изучение экзопланет

Задачами следующих трех десятилетий будут:

- определить наше место во Вселенной;
- установить, сколько существует планет, похожих на Землю, и на каком расстоянии они от нее расположены;
- найти внеземные формы жизни за пределами Солнечной системы.

Дополнительные исследования помогут определить, какие по типу планеты находятся в системах, наиболее близких к Солнечной; каковы их основные характеристики; сколько межзвездной пыли в зоне, где возможна жизнь. Предполагается, что это поможет в поиске внеземных форм жизни в соседних планетарных системах. В ближайшем будущем станет возможным получить данные о том, что представляют собой другие планетарные системы, прежде всего, посредством изучения тех планет, чья масса превышает массу Земли или равна ей.

Одной из основных задач для будущих трех десятилетий, согласно NASA, станет исследование экзопланетарных окрестностей. Поскольку большая часть экзопланет относится к газовым гигантам, изучение скоплений газа в их окрестностях позволит составить представление об их формации. Кроме того, по газовому составу планетарных окрестностей можно выявить наличие главного источника жизни – воды.

Изучение экзопланет необходимо, чтобы понять их природу и эволюцию, а также сопоставить с особенностями нашей Солнечной системы.

Для изучения экзопланет важно развивать сравнительную планетологию. Планируется объединить усилия астрономов и биологов в такой междисциплинарной области знания, как астробиология. Именно это позволит обнаружить жизнь на экзопланетах или

условия для ее возникновения.

Следующим шагом должно стать непосредственное выявление скалистых планет с признаками наличия воды на поверхности или в атмосфере.

Это можно осуществить, если обнаружить свет, который исходит от экзопланет размеров Земли и подавляется свечением звезды. Оптические возможности коронографа позволяют выявить такое планетарное свечение.

Другая составляющая исследования – изучение особенностей экзопланет, подобных Земле: сколько времени требуется для их полного обращения вокруг звезды, сколько энергии они от нее получают, какова температура их поверхности; важны такие характеристики, как сменяемость сезона или погоды. Обнаружение и изучение спутников поможет более точно определить массу планет, силу тяжести, атмосферное давление, особенности ландшафта.

Значимой является информация о наличии других планет в обитаемой зоне. С таких данных можно будет выявить архитектуру планетарной системы и составить представление о структуре и истории экзопланет. Все это необходимо для оценки существующих теорий и моделей.

К концу тридцатилетнего периода должна быть собрана информация о планетах, похожих на Землю и расположенных вокруг ближайших звезд, детально изучена каждая планета.

В среднесрочной перспективе планируется детально описать поверхности (ландшафты и тектонические особенности) планет, похожих на Землю, и создать соответствующие карты.



А. Быков: «Активное развитие имеют поиски экзопланет. На сегодняшний день это пока весьма упрощенная вещь; то есть просто мы знаем, что у некоторых звездных систем есть планетоподобные объекты, которые вращаются вокруг них. Физические свойства этих объектов известны мало. Сейчас будут направлены огромные ресурсы во всех космических агентствах на тонкие спектральные наблюдения слабых сигналов экзопланет, то есть на попытки понять, есть ли зоны обитания. В традиционном смысле, чтобы была жизнь, надо, чтобы была вода»

В целом, важнейшим инструментом для выявления жизни на других планетах станет развитие телескопии с более высокой оптической силой, а также применение спектроскопов. Обнаруженное бледно-синее свечение планет является признаком возможного существования био-

логических форм жизни. Получить более точные данные станет возможно при применении метода спектроскопии. Большое значение при создании планетарных карт будет иметь метод интерферометрии.

Дорожная карта поиска и изучения экзопланет



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты NASA по астрофизике

2. Изучение галактик

Помимо нашей Солнечной системы, наиболее перспективным является исследование разнообразия звезд и их жизненных циклов; генерации элементов, которые, в конечном счете, сделали жизнь на Земле возможной. Цель исследований в ближайшие 30 лет – понять, как галактики начали формироваться, как они были построены, как они росли и менялись с течением времени.

При этом Млечный Путь дает уникальный крупный план для исследования. В пределах этой галактики существуют не только различные среды, но и многие отдельные компоненты, из которых состоят миллиарды галактик во Вселенной, причем каждая содержит миллиарды звезд и имеет собственную уникальную историю жизни.

В то же время исследования галактик невозможно без исследования черных

дыр, являющихся наибольшей загадкой. В тридцатилетней перспективе с помощью телескопов нового поколения будет обеспечена полная перепись структуры Млечного Пути и детальных звездных популяций.

Комплексное исследование Млечного Пути, безусловно, способствует значительному прогрессу в понимании сборки галактики, но Млечный Путь – пример только одного вида галактики.

К 2040 г. планируется собрать обширную базу данных по величине, диаграмме и скоростям звездных групп во всех основных типах галактик.

Звезды и планеты	Открыть ближайшее планетарное скопление	Измерить структуру диска и расположение воды	
	2023	2033	2043
Ближайшие галактики	Картировать весь Млечный Путь	Открыть археологию всех близлежащих галактик	
	2023	2033	2043
Черные дыры	Найти первые черные дыры	Описать ранние черные дыры и их поведение	Зафиксировать увеличение диска черных дыр
	2023	2033	2043
История галактик	Запечатлеть первые черные дыры	Провести спектроскопический анализ первого звездного света	Сделать карту эпохи реионизации

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты NASA по астрофизике

3. Изучение Вселенной

В ближайшие 30 лет будут исследованы первые наносекунды космической истории, чтобы получить ответы на вопросы об ускорении расширения Вселенной, понять суть и поведение субатомных частиц, а также измерить силу тяжести вблизи горизонтов

черных дыр. Планируется вести исследования самых ранних моментов космической истории, свойств темной энергии и гравитации, чтобы осуществить точное картирование Вселенной.



А. Быков: «Весь объем наших знаний о Вселенной позволяет нам хорошо понимать природу лишь 5 процентов всех ее компонентов. То есть природу лишь так называемого барионного вещества. А природа 95 процентов нашей Вселенной, которые приходятся на темную материю и темную энергию, пока неясна»



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты NASA по астрофизике

4. Полет на Луну и Марс

На сегодняшний день и в среднесрочной перспективе много исследований ведется с тем, чтобы отправить миссии на Луну и Марс.

Об отправке своих миссий на Луну заявили Федеральное космическое агентство России (Роскосмос) и Европейское космическое агентство (ЕКА). Итоговая цель Роскосмоса – построить базу на Луне.

NASA пока не планирует отправлять миссию на Луну. Вместо этого планируется миссия на Марс до апреля 2023 г. При этом подготовка экипажа планируется уже на 2018 г. Основная концепция миссии состоит в том, чтобы переоборудовать астероид в космический корабль. Так, согласно плану, основная работа должна быть выполнена роботизированным аппаратом, при этом в ходе полета планируется задействовать ресурсы самого небесного тела.

Наряду с NASA, Европа, Россия и Китай также планируют отправку миссии на Марс.

Частные компании и некоммерческие организации включаются в гонку за полет на Марс, настаивая на том, что могут это сделать лучше, быстрее и дешевле:

- SpaceX планирует высадку на Марсе в срок до 10 лет.
- Компания Mars One планирует к 2035 г. создать колонию из 20 человек. В планах компании – каждый год, начиная с 2026 г., отправлять пилотируемые корабли с экипажем из четырех человек. Кандидаты отбирались через интернет, команды начинают подготовку в 2017 г.

		Запуск демонстрационной миссии и спутника связи	Запуск 6 грузов: 2 жилых блока, 2 блока с системами жизнеобеспечения, 2 грузовых/ складских блока	Запуск первого пилотируемого корабля с экипажем из 4 человек; отправка груза для обеспечения жизни второго экипажа	Запуск второго корабля с экипажем из 4 человек			
2017	2020	2022	2024	2025	2026	2027	2028	2035
Начало физической и психологической тренировки команды		Запуск второго спутника связи, беспилотного марсохода, выбор места для поселения и подготовка поверхности для прибытия груза		Посадка грузов рядом с марсоходом; подготовка базы для прибытия людей		Высадка первого экипажа в посадочном модуле; установка дополнительных солнечных панелей, сбор модулей для второго экипажа, начало обживания		Размер колонии должен достигнуть 20 человек

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Mars One

5. Борьба с астероидной опасностью

Астероиды являются реальной и потенциально смертельной угрозой. Но если их заранее обнаружить, можно их легко отклонить.

На сегодняшний день каталогизировано около 10 000, или 1%, всех астероидов, сближающихся с Землей. При подобных темпах обнаружение всех астероидов займет порядка тысячи лет. Соответственно, существует необходимость радикально изменить методы наблюдения.

В 2015 г. NASA выбрало проект космического инфракрасного телескопа NEOCam для полного финансирования в качестве одного из пяти финалистов программы Discovery. Планируется, что после одобрения проекта, NEOCam, достигнув наблюдательной позиции, сможет начать работу в 2021 г. и будет способен обнаружить порядка 2/3 астероидов, которые потенциально могут угрожать Земле.

В то же время только обнаружения астероидов недостаточно. Дополнительные идеи борьбы с астероидной опасностью следующие:

- «гравитационный буксир». Концепция состоит в том, чтобы направить к потенциально опасному астероиду космический аппарат, который сможет «оттянуть» астероид.
- «кинетический ударник», способный отклонить курс летящего астероида. Проект планируется ЕКА совместно с NASA в рамках миссии Asteroid Impact & Deflection Assessment (AIDA), уже получившей предварительное финансирование. Так, наблюдательный космический аппарат будет запущен в 2020 г., к Дидиму, бинарному астероиду, с целью получить данные о строении астероида, а также, безусловно, проверить способность отклонить курс астероида.

6. Создание ракетных двигателей на принципиально новой основе

Использование 3D-печати имеет потенциал создавать ракеты быстрее и дешевле.

В декабре 2015 г. NASA сообщило о проведении испытаний ракетного двигателя, 75% частей которого изготовлено с помощью 3D-печати.

Помимо NASA, компания GE напечатала и испытала полностью функциональный миниатюрный 3D-реактивный двигатель, скорость которого достигает порядка 33 000 об./мин.

SpaceX сообщила об успешном запуске ракеты Falcon 9 с 3D-печатным основным окислительным клапаном двигателей – это первый случай запуска 3D-печатной детали в составе ракеты в космос.

Прогнозируются, что аддитивное производство станет основным компонентом производства ракетного двигателя.

3D-печать хорошо подходит для использования в аэрокосмической промышленности не только из-за возможности легкой настройки. Компоненты, изготовленные подобным образом, как правило, имеют меньшее количество деталей, нуждающихся в соединении и сборке: в турбонасосе, используемом при испытании двигателя NASA, было на 45% меньше деталей, чем в традиционном.

Аддитивные технологии также ускоряют научные исследования и разработки: инженеры могут спроектировать деталь, распечатать ее, провести тестирование, найти недостатки, исправить их, и повторить. Процесс занимает меньше времени, чем при традиционном производстве, снижается и стоимость производства.

Анализ динамики публикационной активности по тематике «Астрофизика»

Анализ динамики публикаций в смежных с астрофизикой категориях, в целом, показал тенденцию к мультидисциплинарности. Так, с 2005 г. начался рост как количества, так и доли публикаций в общем объеме в смежной категории «Мультидисциплинарные исследования в физике».

Кроме того, за последние 10 лет произошел рост объема и доли публикаций в следующих смежных с астрофизикой категориях:

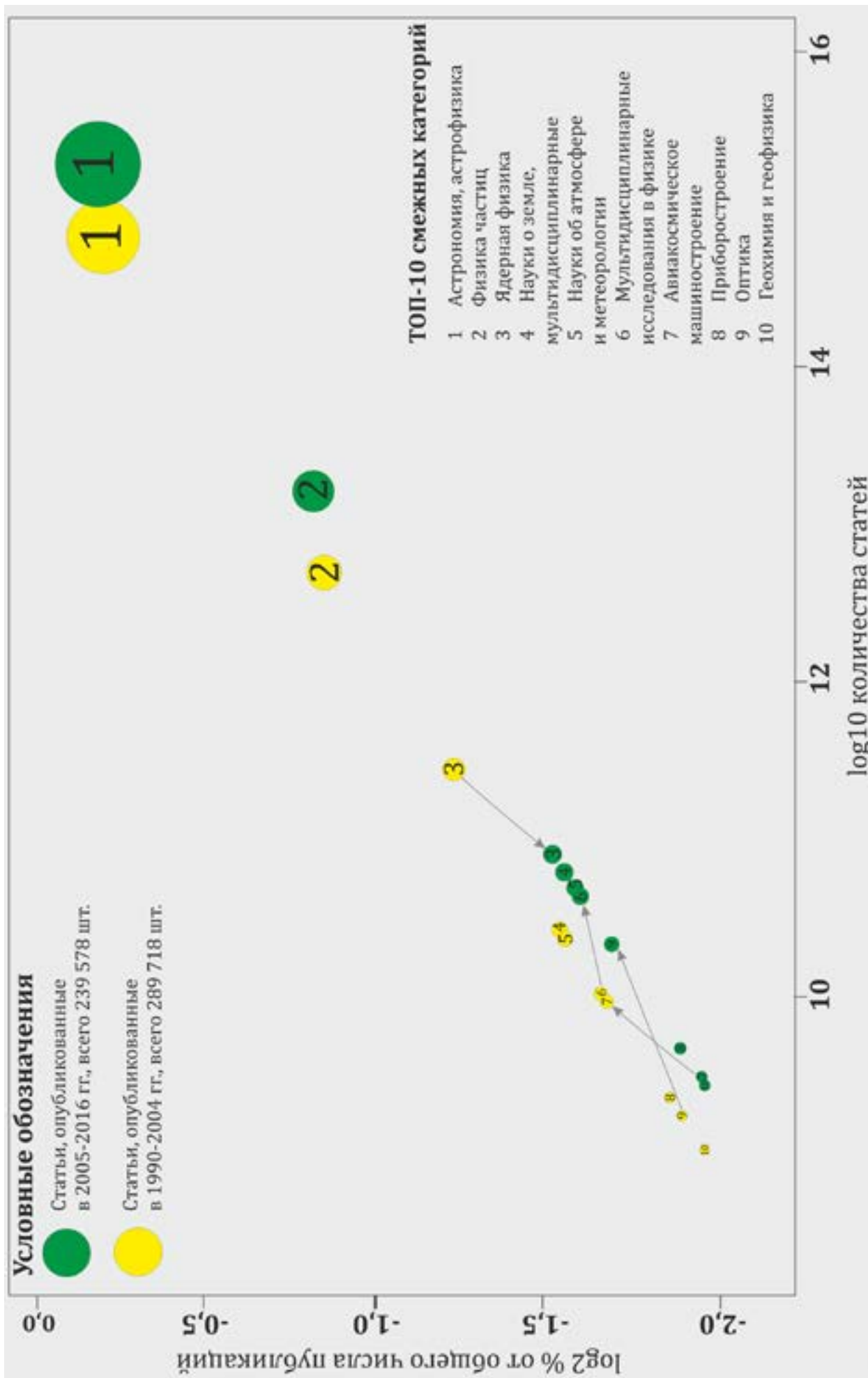
- оптика, что свидетельствует о необходимости развития телескопии.
- исследования авиакосмического машиностроения, что, вероятно, связано с планами отправки миссий на Луну и Марс.

В то же время отмечено значительное снижение объема и доли публикаций в смежной категории «Ядерная физика» по сравнению с анализируемым периодом 1990–2004 гг.

Семантический анализ высоко цитируемых

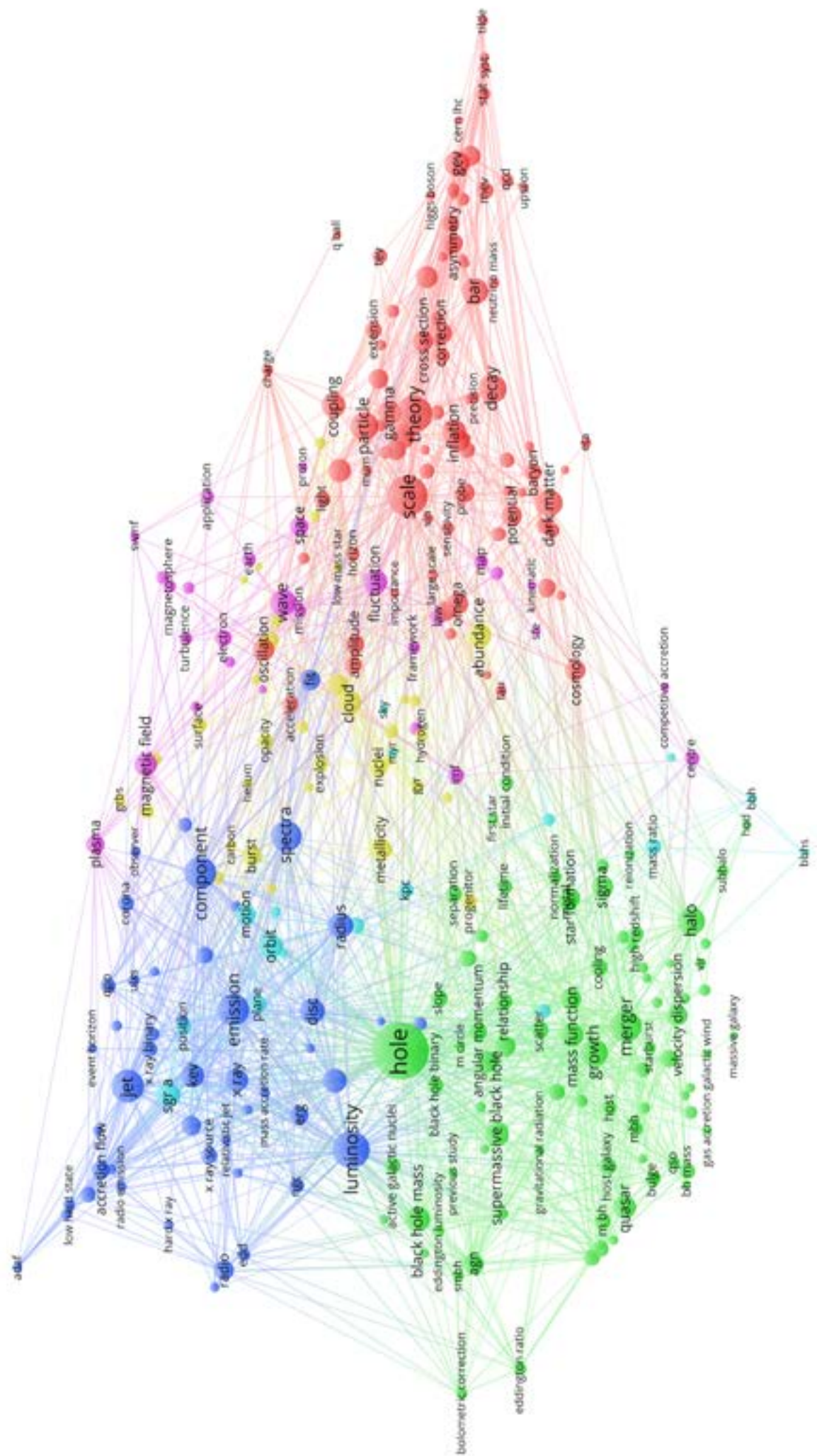
статей (10% самых цитируемых статей от общего количества, при генеральной совокупности >5000), опубликованных по тематике «Астрофизика» в периоды 2000–2010 и 2010–2016 гг., подтверждает смену тематики исследований, но в пользу исследования галактики.

Динамика публикаций статей в смежных с астрофизикой категориях



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Web of Science

Семантический анализ статей, опубликованных по тематике «Астрофизика» в 2000-2010 гг.



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

Лазерные технологии

Основные вызовы области

Смена тематики

Акцент сместился в сторону life science. Соответственно, возникает запрос на появление микролазеров и микрочипов для различных применений. Развитие лазерных технологий для рынка микроскопии определяется ключевыми тенденциями, которые в настоящее время включают в себя методы сверхразрешения, многофотонного применения в оптогенетике и других областях нейробиологии. Так, оптическая микроскопия на основе лазерной микроскопии является очень динамично развивающейся отраслью. Новые методы продолжают развиваться, в то время как существующие методы находят новое применение.

Ранняя диагностика

Экспресс-диагностика болезней: определение заболевания посредством одного анализа.

Быстрая обработка информации

Замена электронных сетей на оптические для различных применений.

Создание оптических компьютеров

либо введение оптических систем для ускорения передачи и обработки информации («вместо проводов свет по оптоволокну»).

Нанолитография

(не ультрафиолетовая, но жесткого ультрафиолета и рентгеновского) ниже дифракционного предела 12 нм.

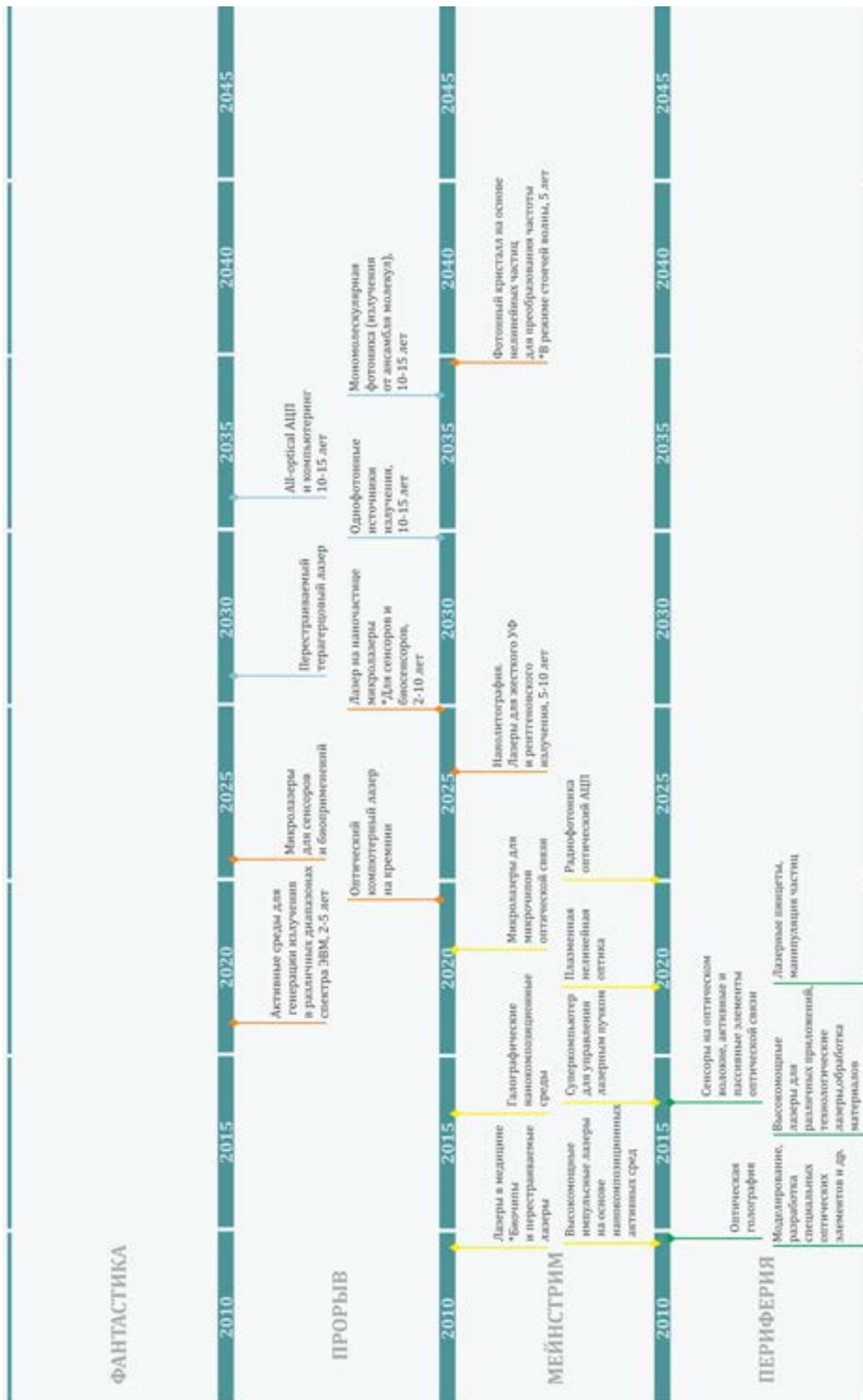


И. Денисюк: «Сейчас происходит промышленная революция, сравнимая с промышленной революцией XIX века. Тогда была машинная революция, перешли на машины, а теперь переходят на сверхбыстрые, произвольно управляемые компьютеры, то есть умные компьютеры. Второе – это биофизика, которая сделает ненужными многомесячные врачебные исследования в больницах, когда в некоторых случаях трудно понять, чем именно болен человек»

МЕЙНСТРИМ		ПРОРЫВ	
Плазменная и нелинейная оптика	Микролазеры для микрочипов оптической связи	Микролазеры для сенсоров и биоприменений	Нанолитография; лазеры для жесткого ультрафиолета; рентгеновское излучение
Радиофотоника и оптические АЦП	Голографические наноконпозиционные среды	Оптический компьютер; лазер на кремнии	Фотонные кристаллы на основе нелинейных частиц для преобразования частоты
Высокопроизводительные вычисления для управления лазерным пучком		Активные среды для генерации излучения в различных диапазонах	Лазеры на наночастице и микролазеры для сенсоров и биосенсоров
ПЕРИФЕРИЯ		ФАНТАСТИКА	
Высокомощные лазеры для различных приложений	Моделирование, разработка специальных оптических элементов	Мономолекулярная фотоника	All optical (полностью оптические) АЦП и компьютеры
Оптическая голография	Сенсоры на оптическом волокне, активные и пассивные элементы оптической связи	Однофотонные источники излучения	Перестраиваемый терагерцовый лазер
Лазерные пинцеты, манипуляция частиц			

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

Лазерные технологии. Таймлайн точек бифуркации научной карты
 (*указаны условия, при которых произойдет смена вектора и типа развития научной карты)



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

Основные тенденции развития лазерных технологий

1. Кремниевая фотоника

Кремниевая фотоника считается наиболее перспективным направлением в электронике, поскольку обещает значительно снизить энергопотребление и увеличить пропускную способность. С помощью технологии можно создавать электронно-оптические микросхемы на кристалле кремния, что позволяет отдельным чипам взаимодействовать посредством оптических сигналов. Исследования кремниевой фотоники начались в конце 1980-х годов. Технология использует лазеры для передачи данных в виде световых импульсов: мультиплексор объединяет импульсы в один сигнал, который передается по оптическому волокну к приемнику кремния, где демультиплексоры разделяют сигнал обратно на отдельные каналы. Фотоприемники могут затем превратить свет обратно в данные.

2. Терагерцовая техника

Терагерцовые (работающие в частотном диапазоне $3 \cdot 10^{11}$ – $3 \cdot 10^{12}$ Гц) лазеры имеют широкую область применения благодаря способности генерируемых ими волн проходить сквозь различные материалы.

Диапазон терагерцовых частот занимает пространство электромагнитного спектра между микроволновым и инфракрасным. Соответственно, терагерцовые волны могут быть использованы для анализа пластмасс, одежды, полупроводников и произведений искусства без повреждения материала; для химического зондирования и идентификации; они также имеют потенциал применения в исследованиях образования звезд и состава атмосфер планет.

На создание первой работающей гибридной микросхемы у IBM ушло около 12 лет. Повышение производительности систем с такими чипами позволяет создавать намного более мощные суперкомпьютеры, чем те, что работают сейчас.

Предполагается, что до 2020 г. кремниевая фотоника не станет грандиозным прорывом на рынке высокотехнологичных коммуникаций. Однако впоследствии годовой объем продаж кремниевой фотоники на основе оптических изделий сможет достичь 1 млрд долл.

Прогнозы строятся на том, что разработчики еще не решили серьезную проблему большой энергоемкости лазерных устройств, генерирующие инфракрасные лучи, посредством которых передаются данные.

Другая сложность заключается в том, что кремний не доказал свою эффективность для лазерной генерации из-за рассеивания тепла внутри материала.



Источник изображения: IBM

В 2015 г. IBM объявила о прорыве в области кремниевой фотоники – была создана первая полностью интегрированная мультиплексированная микросхема. Устройство размещается на одном кристалле кремния и позволит отдельным чипам взаимодействовать между собой с помощью оптических, а не электромагнитных волн, что будет способствовать повышению пропускной способности до 100 Гб в секунду и выше.

Терагерцовые лазеры существуют, но имеют особенность: как только для них установлена длина волн света, она не может меняться, что значительно усложняет использование лазеров. Соответственно, в ближайшей перспективе – поиск возможностей удобного перестроения терагерцовых лазеров.

Сейчас прорывным исследованием в этой сфере считается создание терагерцовых лазеров на основе графена как замены части металлических конструкций. В результате устройство способно производить терагерцовый луч, но некоторые элементы конструкции требуют доработки.

3. Оптические компьютеры

Современные компьютеры на кремниевой основе вскоре столкнутся с серьезными проблемами. Ограничения зависят от предела уменьшения размера используемых транзисторов.

Согласно закону Мура, число транзисторов на компьютерном чипе удваивается каждые восемнадцать месяцев. Если эта тенденция будет продолжаться, возникнет необходимость искать альтернативные методы хранения и передачи данных.

Поскольку скорость света является максимальной скоростью, достижимой во Вселенной, имеет смысл использовать свет в качестве носителя информации.

При этом оптические транзисторы могут быть значительно быстрее и производительнее, чем электронные транзисторы. Более того, создание оптических компьютеров также сможет способствовать сокращению потребления энергии и выделения тепла.

Основными преимуществами оптических компьютеров являются следующие:

- **небольшой размер;**
- **значительное увеличение скорости работы и вычислений;**
- **масштабируемость, от больших до малых сетей;**
- **слабый нагрев;**
- **быстрое одновременное выполнение сложных функций:** фотоны редко взаимодействуют друг с другом; таким образом, большое количество различных лучей, обозначающих различные пакеты информации, могут быть отправлены одновременно в одном пространстве.

В то же время оптоэлектронные компьютеры представляются гораздо более реалистичной концепцией, чем полностью оптические.

Оптоэлектронные компьютеры – гибридные компьютеры с использованием фотонных компонентов, интегрированных с кремниевыми компонентами: сегодня существуют прототипы оптико-электронных чипов. Оптоэлектронные компьютеры обеспечивают ряд преимуществ оптических вычислений. В то же время по-

стоянная конвертация из двоичной системы в световые импульсы и обратно значительно снижает скорость и увеличивает потребление энергии. Без преобразования информация движется почти со скоростью света.

Существует ряд недостатков оптических компьютеров.

Основной недостаток заключается в том, что мы, вероятно, еще не скоро получим полностью функциональный, масштабируемый и коммерчески доступный оптический компьютер.

Кроме того, оптические волокна, как правило, значительно шире, чем электрические следы, а большинство компонентов в настоящее время гораздо больше, чем их электрические аналоги, что объясняется относительно небольшим опытом оптических вычислений по сравнению с опытом использования кремниевых компьютеров.

И, наконец, еще не создано программное обеспечение для работы с оптическими компьютерами.

4. Фотонные кристаллы

В основе световой техники лежат фотонные кристаллы – пространственно упорядоченные системы со строго периодической модуляцией диэлектрической проницаемости. Подобно транзисторам, фотонные кристаллы работают как переключатель при передаче сигнала, которым можно закодировать информацию при использовании в компьютерных вычислениях.

Основная проблема состоит в том, чтобы изготовить фотонные кристаллы высокого качества с оптическими характеристиками, удовлетворяющими достижению «полной фотонной запрещенной зоны» в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. При этом пока удалось изготовить лишь кристаллы с толщиной менее 10 ячеек. Соответственно, основной задачей является разработка методов получения трехмерных фотонных кристаллов, технологичных, эффективных и не имеющих ограничений ни на линейные размеры, ни на количество кристаллов.

Области применения фотонных кристаллов различны: в виде источников энергии, в качестве детекторов, сенсоров.

Перспектива использования фотонных кристаллов заключается в их способности фильтровать поступающие на них волны в зависимости от длины. Так, фотонные кристаллы способны поглощать одни волны, но свободно пропускать другие. Причиной этого является физическая структура фотонных кристаллов: пустоты чередуются со слоями, заполненными веществом.

Анализ динамики публикационной активности по тематике «Лазерные технологии»

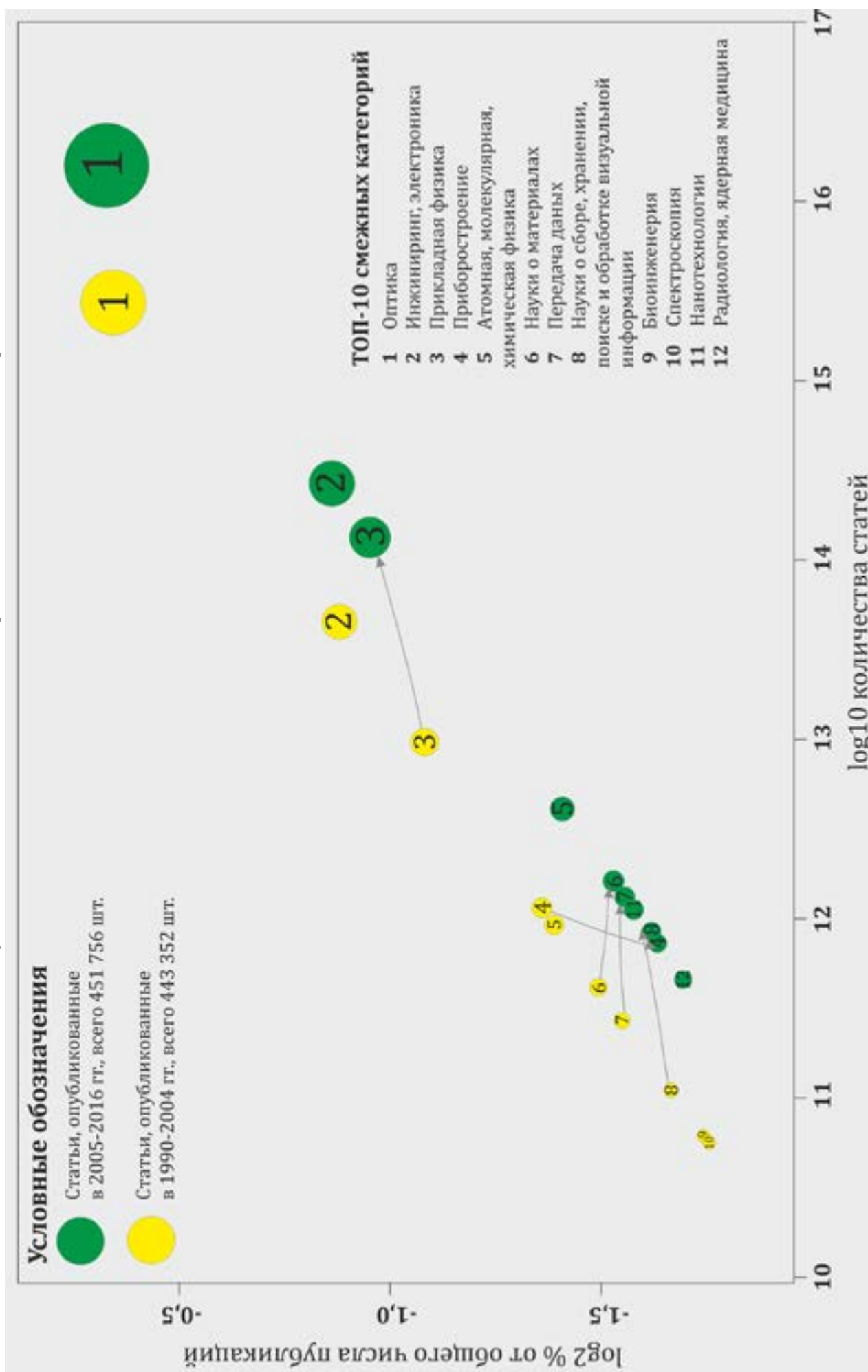
Анализ динамики публикаций в смежных с лазерными технологиями категориях показал постепенную смену акцента исследований.

Так, с 2005 г. значительно выросло как количество публикаций, так и доля в общем объеме публикаций по следующим категориям: «науки о сборе, хранении, поиске и обработке визуальной информации», «передача данных», «науки о материалах», что свидетельствует о смещении вектора в сторону изучения возможностей обработки информации.

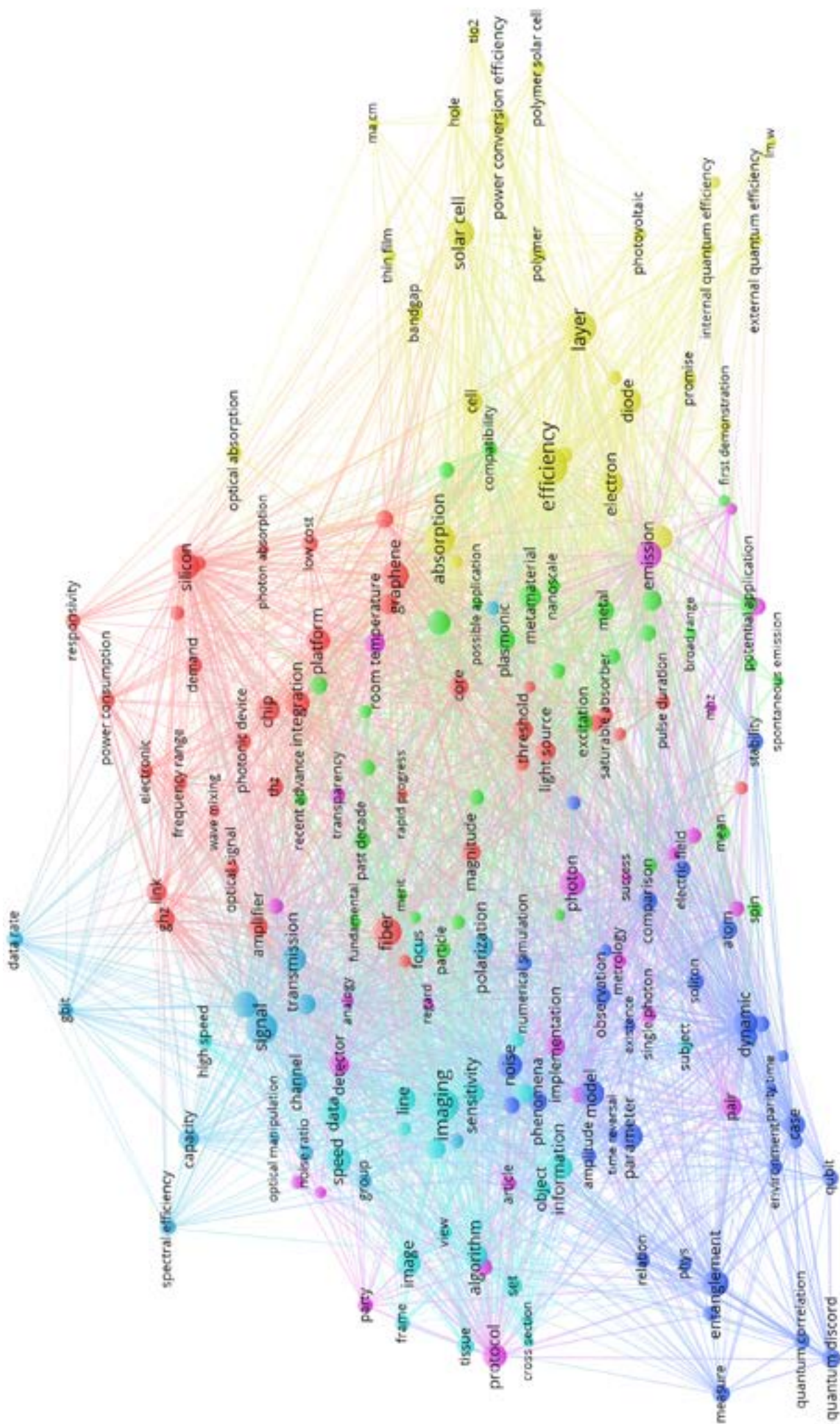
Кроме того, наибольший рост публикационной активности с 2005 г. отмечен по тематике «Нанонауки, нанотехнологии» (в 2005 г. направление не входило в Топ-25 смежных категорий), а также «Радиология, ядерная медицина» (в 2004 г. направление находилось на 17-м месте). Значительный рост публикационной активности, вероятно, свидетельствует о смещении вектора исследований в сторону медицины.

Семантический анализ высоко цитируемых статей (10% самых цитируемых статей от общего количества, при генеральной совокупности >5000), опубликованных по тематике «Лазерные технологии» в период 2010–2016 гг. (в отличие от 2000–2010 гг.), подтверждает смену тематики исследований в сторону обработки данных.

Динамика публикаций статей в смежных с лазерными технологиями категориях

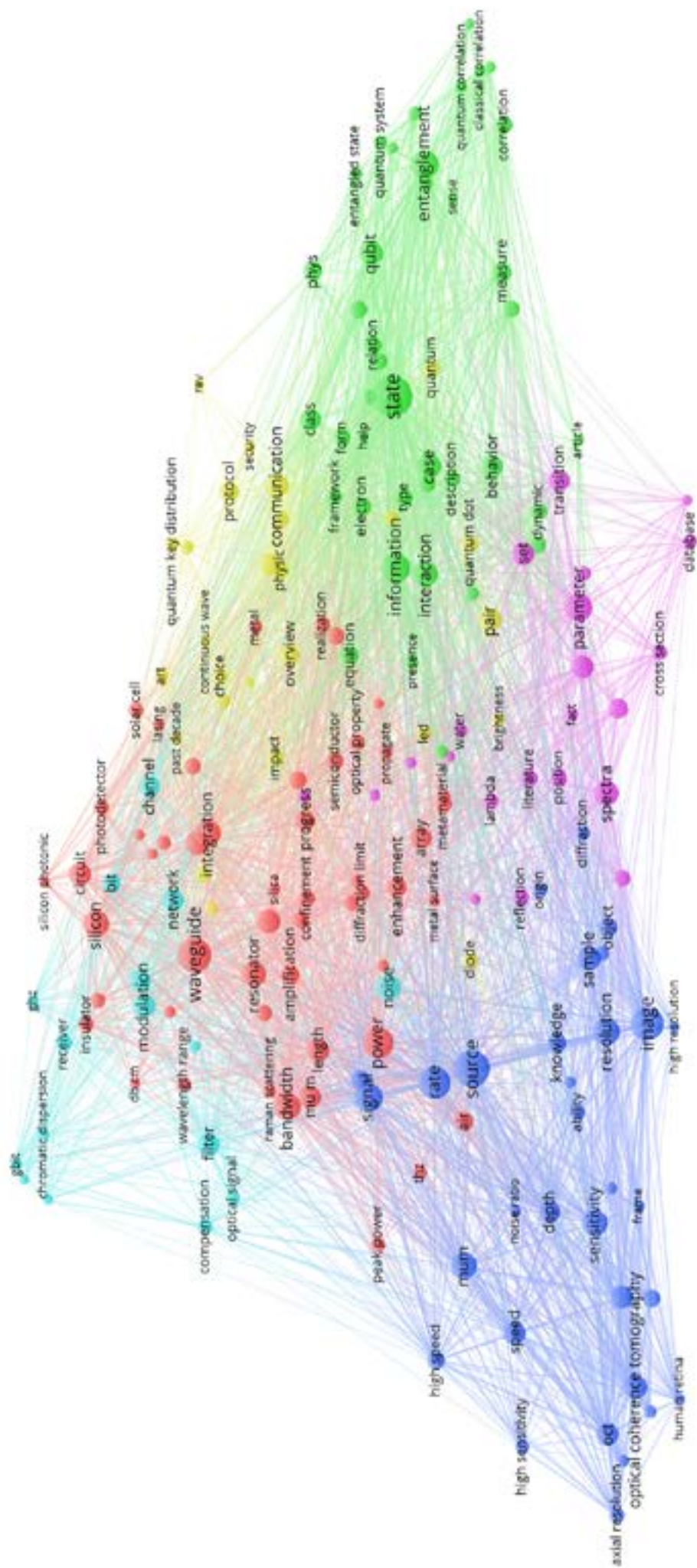


Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Web of Science



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

Семантический анализ статей, опубликованных по тематике «Лазерные технологии» в 2000-2010 гг.



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

Основные вызовы области

Конвергенция наук и технологий (гибридные науки)

Несмотря на то, что технологии постепенно становятся неотъемлемой частью науки, процесс адаптации идет медленно и с трудом. Научный сектор страдает от высокой стоимости технологий и проблем их производительности, при этом информационные технологии рассматриваются как возможное решение возникающих вопросов.

Так, пациенты смогут наблюдаться в домашних условиях, а не в больнице, что позволит сэкономить ресурсы; сетевая информация сократит количество ненужных испытаний и улучшит качество медицинской помощи, предоставляя врачам более полную картину. Системы поддержки принятия решений для врачей могут уменьшить количество ошибок, а также повысить качество медицинской помощи.

Медицинский персонал, пациенты и технологии сталкиваются с проблемой адаптации к радикальным преобразованиям, происходящим в цепочке добавленной стоимости отрасли. В то время как вопросы конфиденциальности, защиты данных, доступности и качества медицинской помощи поляризуют общественное мнение, цифровое общество, технологические достижения и предпринимательские инновации определяют, как будут оказываться медицинские услуги в будущем.

Запрос общества на персональную медицину

Уход от стандартизированной медицины и движение в сторону персональной.

Продление продолжительности жизни на десятилетия (остановка старения клеток)

Увеличение продолжительности жизни является наибольшим запросом со стороны общества; на протяжении долгого времени активно ведутся исследования вопросов долголетия, анализ того, как внешние или внутренние факторы могут влиять на изменение продолжительности жизни.

Эволюция вирусов, борьба с раком, глобальная эпидемия

Развитие противовирусных препаратов, при безусловном положительном эффекте, ведет к появлению новых поколений лекарственно устойчивых бактерий, а также к стремительной эволюции вирусов, что, в свою очередь, рождает новые инфекционные угрозы.

Вызовы социальной структуры (депрессии, ранняя диагностика, профпригодность)

Проблема депрессивных расстройств является одной из наиболее актуальных в современной клинической и социальной психиатрии.

О. Власова: «Я хочу напомнить, что биологически наш вид, человек разумный, может существовать 150 лет. Думаю, что через 20 лет можно будет продлить жизнь лет на 10. Я имею в виду именно активное существование»



Д. Кэрролл: «Быстрый прогресс в области медицинской науки в западном полушарии, влияние изменения образа жизни и новые виды диеты «супер-здоровье» к 2025 г. приведут к празднованию дня рождения первого человека, который смог дожить до 140 лет»



Источник изображения: Washington Speakers Bureau

МЕЙНСТРИМ		ПРОРЫВ	
Таргетная противоопухолевая терапия	Биоактивные наночастицы	Донорологическая диагностика	Пренатальная профилактика
Анализ больших данных	Биодобавки и микронутриенты	Тканезаместительная терапия	Конструирование пандемических вакцин
Молекулярная физиология с выходом в фармакологию	Фармакогенетика	Оптогенетика	Продуценты молекул с заданным строением
Нейропсихофармакология	Нейрогенез	Персональная метаболическая коррекция заболеваний	Разрыв наркозависимости с помощью физиотерапии
Биосенсоры			
ПЕРИФЕРИЯ		ФАНТАСТИКА	
Классическая фармакотерапия, в т.ч. ЖКТ	Формализованная медицина (стандарт)	Управление активностью возбудимости клеток с помощью света	Универсальная трансплантация и донорство
Макроанализ и инвазивные методы диагностики	Гемодиализ	Расширение адаптационных возможностей человека	Протезирование забарьерных органов
Классическая биохимия	Амилоидные гипотезы нейрозаболеваний	Соматическая генная инженерия человека	Интерфейсы мозг-компьютер

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

Медицина. Таймлайн точек бифуркации научной карты
 (*указаны условия, при которых произойдет смена вектора и типа развития научной карты)



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

Основные тенденции развития медицины

Медицинские исследования развивались значительными темпами на протяжении XX и в начале XXI вв., и, по прогнозам, находятся на грани смены парадигмы. Прорывные объявления о развитии технологий имеют место несколько раз в год, демонстрируя миру гаджеты, которые могут революционизировать жизнь и работу. Медицина является одной из тех областей, где инновации происходят быстрее, чем где-либо: крупные компании и стартапы стремятся революционизировать все сегменты медицины.

1. Большие данные

Большие данные для медицины и здравоохранения – это «нефть завтрашнего дня»; с их помощью станет возможно создавать продукты и услуги на недостижимом ранее уровне.

Объем доступной информации постоянно увеличивается: ученые и исследователи всё чаще делятся своими данными, пациенты измеряют собственные показатели, медицинские работники готовы использовать большой массив

Медицинский персонал, пациенты и технологии сталкиваются с проблемой адаптации к радикальным преобразованиям цепочки добавленной стоимости отрасли. Именно технологические достижения и предпринимательские инновации определяют, как будут оказываться медицинские услуги в будущем.

данных для мониторинга – индустрия здравоохранения переживает поворотный момент в своей истории.

В то же время возникает вопрос конфиденциальности данных, поскольку информация о состоянии здоровья пациента больше не является собственностью врача, но может передаваться и распределяться между поставщиками услуг.



Источник изображения:
Washington Speakers Bureau

Д. Кэрролл: «Постоянный поток биоданных изменит медицинскую помощь. Поток данных будет подаваться в массивную, анонимную сеть здравоохранения, которая будет постоянно анализировать их на предмет отклонений и тенденций. Самой быстроразвивающейся профессией станет личный консьерж здоровья. В то же время, что поток данных биоподключения будет подаваться в сеть, он будет направлен к личному тренеру по здоровью (консьержу). Консьерж будет иметь глубокие медицинские знания, постоянно обновляемые при помощи новых данных, и будет находиться в одном из новых мегаполисов Азии или Африки. Консьержи будут работать с пациентами традиционного семейного врача, чтобы помочь пациенту при решении как рутинных, так и сложных медицинских вопросов»

2. Телемедицина и удаленная диагностика состояния пациента

Услуги медицинского обслуживания на дому и технология телемедицины позволят установить непрерывную связь врач-пациент там, где это было невозможно ранее, и в то время, когда личный контакт не представляется возможным. Такой подход необходимо развивать по объективным причинам: нехватка медицинского персонала приобретает глобальный характер. Только в США нехватка врачей, по прогнозам, возрастет до 130 тыс. к 2025 г., при этом обучить необходимое количество врачей практически невозможно.

Повсеместное распространение телемедицины и удаленной диагностики указывает на то, что медицинская экспертиза, лабораторные испытания в скором времени будут доступны из дома. При этом разворачиваются дискуссии о том, должна ли медицинская практика становиться полностью цифровой.

3. Носимые технологии

Носимые медицинские технологии, безусловно, не являются чем-то новым: устройства, подобные инсулиновым помпам, существуют уже давно. Тем не менее возникающие новые возможности носимых технологий означают, что в скором времени в секторе произойдут революционные изменения.

На сегодняшний день пациенты могут самостоятельно измерить лишь ограниченное число медицинских параметров: в первую очередь, это кровяное давление и уровень глюкозы в крови.

Именно возможность контролировать основные показатели является одним из драйверов развития новых видов датчиков, встроенных, имплантированных или носимых в одежду. Технологии позволяют измерить основные параметры здоровья удобными и недорогими способами, недоступными прежде. Носимые датчики собирают данные из повседневной жизни, помогая тем самым принимать более обоснованные решения, поддающиеся количественной оценке.



Источник изображения: Washington Speakers Bureau

Д. Кэрролл: «К 2025 году большинство людей в развитых странах будет носить 3–4 медицинских устройства, подключенных 24/7. Например, небольшие подкожные чипы, которые будут постоянно контролировать медицинские жизненные показатели. Медицинская промышленность получит возможность проводить мониторинг в режиме реального времени, предсказывать вспышки заболеваний и гриппа и возникновение потенциальных, ранее неопознанных глобальных или региональных угроз для здоровья»

Наиболее перспективными формами сенсоров считаются: (1) носимые, (2) перевариваемые, (3) «встроенные» за счет того, что подобные датчики способны измерять жизненно важные признаки и параметры здоровья 24 часа в сутки, передавать данные в «облако» и отправлять предупреждения в медицинские системы, например, в случае инсульта. Предполагается, что в перспективе подобные устройства будут способны вызвать скорую помощь посредством передачи соответствующих данных.

- **Носимые сенсоры**, наиболее распространенный вид сенсоров, заимствованный из спортивной индустрии.
- **Перевариваемые сенсоры**, работающие в организме после того, как пациент проглотит их. Сенсоры нацелены на сбор и хранение данных, передавая температуру тела, пульс и частоту дыхания на внешние устройства. При заболеваниях, связанных с желудочно-кишечной системой, устройство способно

мгновенно поставить диагноз, объединив результаты лабораторных маркеров и колоноскопии.

- **Имплантированные сенсоры**, наиболее провокационный вид сенсоров, RFID-чипы, имплантированные в (под) кожу.

Основными областями, где, по прогнозам, рост рынка носимых технологий принесет наиболее значительные изменения, являются следующие:

1. **Мониторинг** здоровых пациентов и диагностика пациентов с заболеваниями

Предсказывается, что медицинская диагностика может опираться на технологический подход, который уже имеет место в некоторых видах спорта, требующих высокой производительности.

2. **Терапия**

Носимые устройства имеют огромный потенциал для лечения хронических и острых состояний. В том числе могут использоваться несколько подходов:

Носимые сенсоры



BioStamp Research Connect компании MC10

PillCam компании Given Imaging, перевариваемая камера, которая снимает пищеварительную систему по мере продвижения по ней.



Доставка лекарственных средств



Инсулиновый дозатор OmniPod компании Insulet Corp

- **доставка лекарственных средств.** Устройства помогают пользователю контролировать терапию с помощью приложений;
- **терапия и соблюдение режима.** Носимые технологии имеют огромный потенциал в данной области, поскольку 40–50% пациентов не принимают лекарства, которые им предписаны. Устройства могут определить, когда принималось лекарство, и напомнить пациентам, если прием был пропущен;
- **нейростимуляция и нейромодуляция.** Некоторые из наиболее интересных достижений – те, где носимые устройства являются непосредственно стимулирующими или стимулируются нервной системой.

3. Протезирование нового поколения

- **роботизированные протезы** как замена конечностей, управляемые непосредственно пациентом,

уже используются в медицине. Устройства фиксируются к телу и управляются либо путем взаимодействия с нервной системой, либо путем движения мышц, которые пользователь учится контролировать для того, чтобы сделать движение с помощью протеза. Можно ожидать больших успехов в этой области, где большая часть инноваций пришла из оборонных исследований;

- **экзоскелетные костюмы** помогут частично парализованным людям снова ходить. Повышение точности управления в конечном счете приведет к установлению связи в реальном времени между протезом и головным мозгом. Основная сложность заключается в разработке устройств, которые будут почти идеально имитировать сложные движения рук и ног.

Нейро-стимуляция и нейромодуляция



Нейро-стимулятор компании Bioness позволяет людям с частичным параличом ходить

NEUROVALENS
Innovative Medical Devices

Neurovalens разрабатывает электронную гарнитуру, которая стимулирует мозг с целью подавить аппетит и вызвать метаболические изменения в организме



Имплантат сетчатки Second Sight берет сигнал с камеры, встроенной в пару очков, которые носит пациент, что позволяет слепым людям получить частичное зрение



Источник изображения: MIT

Р. Брукс: «Скорее всего, протезы, контролируемые мозгом, появятся в течение нескольких лет. Подобные исследования и разработки реализуются программами DARPA в настоящее время. Эти протезы изменяют способы, которыми мы можем взаимодействовать с миром, дав людям возможности, о которых нельзя было мечтать несколько десятилетий назад»

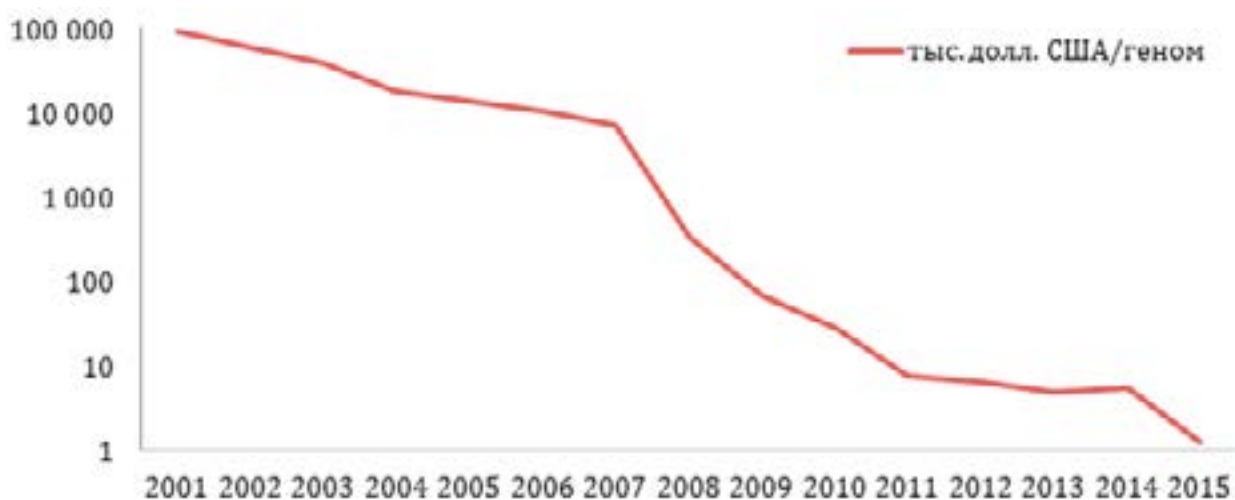
4. Геномика и персонализированная медицина

Открытие генов является одним из главных научных достижений в истории человечества. Геномика имеет потенциал дать людям большие возможности, позволяя лечить болезни или настроить организмы, подготовиться к заболеванию за много лет и подобрать метод лечения на ранней стадии заболевания, удовлетворить мировые потребности в продуктах питания, топливе и медицине, связанные с ростом и старением населения. Снижение стоимости технологий секвенирования генома (комплекс

методов установления последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК) способно ускорить процесс: первое секвенирование генома человека было завершено в 2003 г., его стоимость составила порядка 1 млрд. долл. США; за 12 лет стоимость снизилась в несколько тысяч раз, до 1,2 тыс. долл. США. Дополнительным катализатором может стать внедрение портативных устройств для секвенирования.

Вероятно, что секвенирование генома станет рутинной частью осмотра у семейного врача, и это ознаменует начало новой, по-настоящему персонализированной медицины.

Динамика стоимости секвенирования генома



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным National Human Genome Research Institute

С. Шимпфф: «Мы вступили в эру геномной медицины. В ближайшие годы мы увидим улучшенную способность диагностировать болезнь, и в будущем даже получится предсказывать заболевания. При этом новые лекарства будут более эффективными и более безопасными. Врачи смогут индивидуально подобрать препараты, как с точки зрения повышения эффективности лечения пациента, так и с точки зрения снижения побочных эффектов»



Источник изображения: LinkedIn

Д. Кэрролл: «К 2025 г. в большом количестве возникнут восстановительные фермы ДНК. Различные медицинские компании предоставят возможность зарегистрировать ДНК, что гарантирует получение персонализированного имплантата по требованию; до 30% массы тела, используемой в хирургии, будет выращено искусственно»



Источник изображения: Washington Speakers Bureau

5. Стволовые клетки

Стволовые клетки способны превращаться, в зависимости от окружения, в клетки тканей разных органов. Одна стволовая клетка дает множество активных, функциональных потомков.

Стволовые клетки содержат в себе не только генетическую информацию, но, главное, схему развития организма, ее последовательность.

Последние достижения в области стволовых клеток, включая плюрипотентные стволовые клетки, открывают широкие возможности для разработки новых лекарственных средств, клеточных продуктов для регенеративной медицины и трансплантологии, изучения механизмов возникновения и лечения генетических болезней.

С. Шимпфф: «Стволовые клетки будут использоваться для генерирования конкретной ткани, потерянной вследствие травмы или болезни. Стволовые клетки также смогут восстановить сердце после сердечного приступа. Пересадка органов больше не будет зависеть от другого человека»



Источник изображения: LinkedIn

П. Диамандис: «Сейчас мы находимся на самых ранних стадиях развития терапии стволовых клеток. Будущее терапии будет прорывным и, честно говоря, его перспективы ошеломляют»



Источник изображения: diamandis.com

6. 3D-печать

Благодаря растущей доступности и инженерии с открытым исходным кодом, применение 3D-печати в медицине невероятно обширно и имеет значительный потенциал для развития:

- **индивидуальные датчики**
- **лекарства**

Предполагается, что в будущем в продаже будут не лекарства, но скорее чертежи или приложения: пациенты на сайте онлайн-аптеки по цифровому рецепту смогут купить план изготовления и химические чернила, а затем распечатать препарат в домашних условиях. С одной стороны, подобная ситуация может привести к более эффективному распределению лекарственных средств; с другой – без должного нормативного регулирования есть опасность производства запрещенных средств. В любом случае подобная ситуация приведет к полной реструктуризации фармацевтической промышленности и биотехнологий.

- **недорогие части протезов**

Создание традиционных протезов занимает много времени и разрушительно, что означает, что любые изменения способны разрушить

первоначальные формы. 3D-печать имеет значительный потенциал в этой области как способ быстро производить дешевые и легко настраиваемые протезные гнезда. Стоимость метода составляет менее 10 долл. США. Таким образом, если объединить 3D-печать с шаблонами с открытым исходным кодом, это приведет к тому, что любой сможет производить, продавать напечатанные протезы, что откроет новую эру дешевого протезирования.

- **аналог костной ткани**

Поражение костных тканей скелета, возникающее по причине остеопороза, воспалительных заболеваний или онкологии, является серьезной проблемой, поскольку костная ткань восстановлению не подлежит. В этом контексте аддитивные технологии рассматриваются как потенциальный способ восстановления пораженного участка – весь процесс занимает несколько часов. В случае успешности опытов в перспективе – использование 3D-печати для решения проблем челюстно-лицевой хирургии, стоматологии, ортопедии, а также нейрохирургии и онкологии.

- **биопечать**



И. Денисюк: «Поскольку в настоящее время в случае утери части скелета его просто нельзя восстановить, сейчас проводятся исследования изготовления на 3D-принтере из специального нанокompозиционного материала элементов скелета, элементов ткани, которые вставляются в организм, приживаются в нем и потом в течение нескольких лет заменяются естественной тканью. Имеются в виду кости и внутренние органы. Организм может регенерировать, если он имеет некую поверхность. Например, если кость заменена искусственным имплантантом, она будет нарастать, а просто между двумя частями кости – не нарастет»

7. Биопечать

Печать живой ткани (биопечать) по сравнению с печатью неживых трехмерных объектов представляет собой значительный шаг.

Ткань по природе является трехмерной, она имеет определенное строение и повторяющиеся шаблоны, которые составлены из различных типов клеток. При этом расположение клеток имеет решающее значение для правильной функции ткани, а также общего состояния здоровья системы.

В то же время заметен прогресс в области биопечати. При создании больших тканей сложнее всего поддерживать их жизнеспособность: технологии позволяют напечатать большой блок ткани (при современной скорости биопечати возможно напечатать стандартную печень взрослого человека за 10 дней), но он не сможет выжить, поскольку клеткам необходимы кислород и питательные вещества, соответственно, необходима полноценная сосудистая система.



Organovo, лидер на рынке биопечати, ведет продажу 3D-напечатанной ткани печени и почек, используемой для преclinical тестирования лекарственных аппаратов. Срок жизни образцов ткани составляет 40 дней. По оценкам Organovo, **первые опыты 3D-печати органов могут начаться не ранее 2020 г.**, причем образцы смогут использоваться только для замены части органов, а **3D-печать полноценных органов возможна не ранее 2025 г.**

8. Нанороботы

Идея использования нанороботов состоит в том, чтобы микроскопические роботы измеряли параметры здоровья и диагностировали заболевания. Предполагается, что нанороботы также могли бы расширить наши знания о биологии и анатомии, улучшить свойства лекарств, выполнить крайне локализованную операцию. Нанороботы, в конечном счете, смогут создать сеть, общаться друг с другом, выявить проблемы со здоровьем и автоматически предпринять корректирующие действия. Безусловно, сейчас идея является футуристической, в то же время мы ближе

к ее воплощению, чем можно подумать. Нанороботы, камеры, специальные капсулы, используемые для нацеливания лекарственного средства, поставки магнитных наночастиц для использования в медицине, уже разработаны. Некоторые из разработок входят в период тестирования на людях. Согласно данным Европейской технологической платформы по наномедицине, на январь 2016 г. такое тестирование проходят порядка 120 единиц товаров, используемых в диагностических, терапевтических, клинических целях. Однако в массовое производство они поступят не скоро.

Сферы применения тестируемых прототипов нанороботов, шт.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» данным « по данным Европейской технологической платформы Наномедицина, январь 2016

Р. Курцвейл: «К 2020-м гг. большинство болезней исчезнут, т.к. нанороботы смогут скачать программное обеспечение и атаковать злокачественные клетки, они смогут поддерживать уровень веществ, необходимых крови, а также провести «ремонт» или замену поврежденных органов»



Источник изображения: Google+

М. Игнатьев: «Прорыв – создание медицинских нанороботов для борьбы с инфекциями внутри организма и улучшения его структуры, prolongation жизни за счет увеличения зоны адапционного максимума в жизненном цикле»



9. Интерфейсы мозг-компьютер

Прогнозируется, что XXI в. станет веком исследования возможностей мозга. Над подобными исследованиями работает ряд проектов.

Проект «Человеческий мозг», финансируемый Европейской комиссией, направлен на создание новой вычислительной платформы для исследований в области неврологии и способностей мозга. Цель проекта – катализировать глобально принимаемые усилия с целью понять человеческий мозг, его болезни, и, в конечном счете, подражать его вычислительным способностям. Проект предполагает, что разработка искусственного человеческого мозга приведет к разработке компьютерных чипов нового поколения и сверхэффективных технологий, для которых человеческий мозг будет примером организации; наработки также могут быть использованы в интеллектуальном анализе данных, телекоммуникациях, сфере бытовой техники и других промышленных отраслях. В проект вовлечено порядка 100 исследователей, стоимость проекта достигает 1,1 млрд евро.

Масштабный проект реализуется Стэнфордским университетом, где ведется работа над печатной платой, способной имитировать поведение человеческого мозга. Созданная «Схема нейросети» может воспроизвести процессы 1 млн человеческих нейронов в результате работы компьютерных чипов, которые в 9000 раз быстрее, чем обычный компьютер.

Конечной целью подобных проектов является исследовать возможности для прямого взаимодействия мозг-компьютер, успешная реализация которого, по прогнозам, потребует не менее 10 лет.

Д. Кэрролл: «То, что было сделано для здоровья сердца в XX веке, будет сделано для здоровья мозга к 2025 году»



Источник изображения:
Washington Speakers Bureau

Д. Муромцев: «Либо мы будем развиваться в сторону киборгов и, соответственно, появятся какие-то элементы, которые будут имплантироваться внутрь человека, т.е. интерфейсные элементы будут подключаться к органам человека (не только к мозгу, это могут быть разные органы) и связывать его с информационным киберпространством. Либо технологии дойдут до уровня, что роботы смогут понимать человека, не только речь: интеллект машин достигнет такого уровня, что они смогут вести себя действительно разумно»



10. Оптогенетика

Оптогенетика представляет собой метод нейромодуляции, сочетающий методы оптики и генетики для контроля активности отдельных нейронов живой ткани. Контроль

осуществляется путем введения генов, которые кодируются светочувствительными белками. Таким образом, некоторые гены могут быть включены или выключены при помощи света.



О. Власова: «Мы занимаемся оптогенетикой, технология предполагает создание генетических конструкций, в составе которых содержатся светочувствительные ионные каналы, что позволяет избирательно регулировать активность нейронов»

Метод дает исследователям беспрецедентный доступ к работе головного мозга, что позволяет не только наблюдать за точной нейронной системой, но прямо управлять поведением, оказывая оптическое воздействие на специфические клетки.

11. Использование искусственного интеллекта (ИИ) для решения медицинских вопросов

Ускоренное развитие систем искусственного интеллекта находит отражение в медицине. Так, даже знание даже самых признанных профессоров не может конкурировать с когнитивными компьютерами, поскольку объем информации растет в геометрической прогрессии: согласно IBM Watson, к 2020 г. прогнозируется удвоение объема медицинских данных каждые 73 дня. Уже сейчас, по расчетам Sloan-Kettering, только чтение медицинской литературы, обновляемой постоянно, у врача займет не менее 160 часов в неделю. При этом суперкомпьютер IBM Watson может обработать порядка 40 миллионов документов в течение 15 секунд. Соответственно, применение подобных систем для принятия медицинских решений неизбежно.

Работа Watson с практикующими врачами демонстрирует, как системы ИИ потенциально могут преобразовать медицинское обслуживание. В течение года Watson «обучался» науке и медицине через медицинские учебники, рецензируемые журналы, истории болезни пациентов, а также рекомендации по лечению.

Пока метод тестируется на животных. Одной из важнейших проблем является способ доставки света.

По окончании «обучения» Watson использовался в онкологических центрах США в качестве дополнительной поддержки при постановке диагноза.

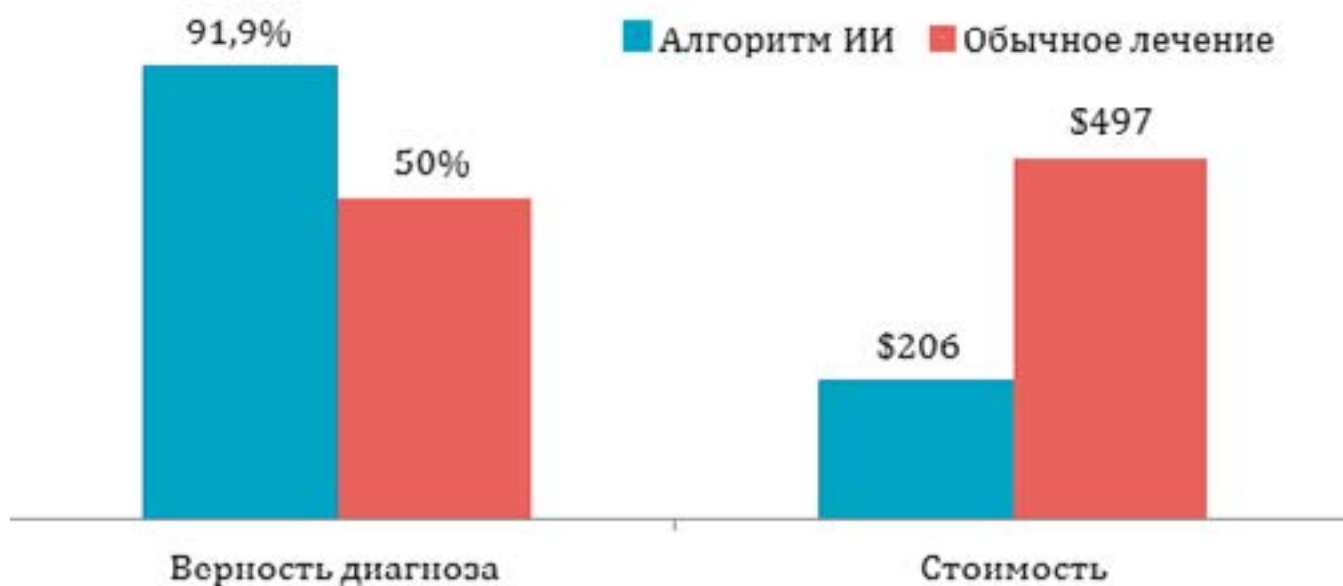


IBM Watson

Эксперимент показал: Watson не отвечает на медицинские вопросы, но на основе входных данных выдает наиболее актуальные результаты. При этом вероятность правильного диагноза Watson составляет более 90%, по сравнению с 50% для диагноза, поставленного врачом, при значительном снижении расходов на терапию.

После успешных испытаний Watson использование ИИ в медицинских целях получило развитие в соответствии с долгосрочным проектом Medical Sieve: Watson используется в радиологии с целью выявления лучевых повреждений.

Терапия с использованием ИИ в сравнении со стандартной терапией



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Indiana University

Перечень компаний, использующих системы ИИ для решения медицинских вопросов, расширился. Так, компания Enlitic изучает использование искусственного интеллекта и глубинного обучения для эффективной диагностики и обнаружения раковых опухолей. Безусловно, массовое распространение подобных решений потребует времени и существенных усилий. Однако тот факт, что подобные системы придут в медицинские учреждения, скорее всего, разделит врачей на два лагеря: одни примут новую реальность с легкостью, другим будет сложно смириться.

Вероятно, что взаимоотношения между врачами, пациентами и роботами будет острой темой для дискуссий в течение последующих десятилетий.



Источник
изображения:
LinkedIn

С. Голд: *«Эффект ИИ на здравоохранение значительно превзойдет самые смелые ожидания. Применение систем ИИ будет расширено: для клинических испытаний с пациентами, применения робототехнических хирургов, анализа рентгенологических данных и секвенирования геномов»*

Анализ динамики публикационной активности по тематике «Медицина»

Анализ динамики публикаций в смежных с медициной категориях показал кардинальную смену вектора (с 2005 г.) в сторону исследований в области молекулярной, клеточной биологии, генома человека и здравоохранения.

Наибольший рост, как по количеству статей, так и по доле публикаций, продемонстрирован по следующим категориям:

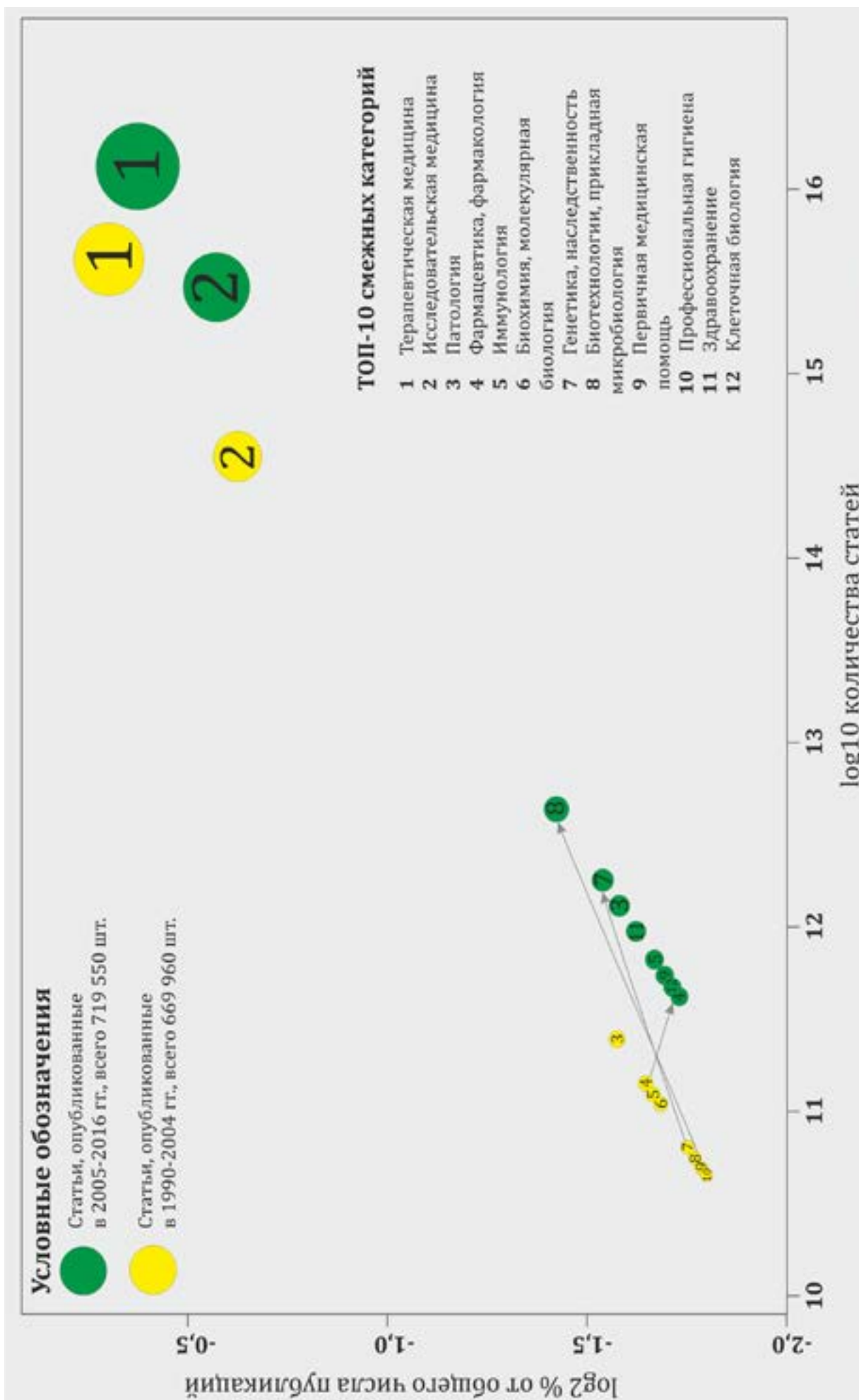
- биотехнологии, молекулярная биология;
- генетика, наследственность;
- клеточная биология (в 2004 г. направление находилось на 13-м месте).

При этом отмечено значительное снижение публикационной активности по тематикам: профессиональная гигиена, фармацевтика и фармакология.

Семантический анализ высоко цитируемых статей (10% самых цитируемых статей от общего количества, при генеральной совокупности >5000), опубликованных по тематике «Медицина», подтверждает смещение акцента исследований. Так, основными тематиками высоко цитируемых статей стали следующие:

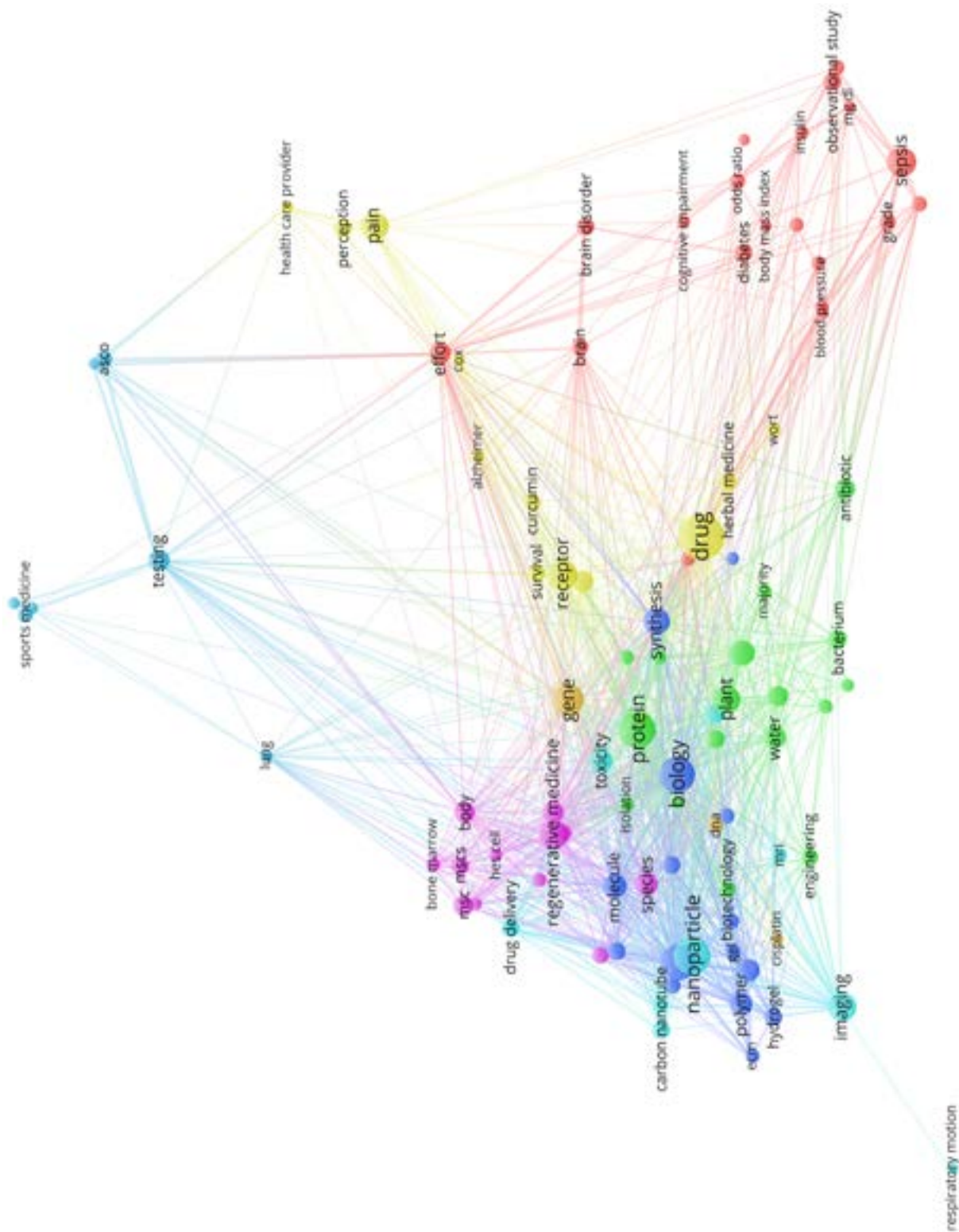
- генетика и регенеративная медицина;
- био- и нанотехнологии в медицине;
- здравоохранение.

Динамика публикаций статей в смежных медицинской категориях



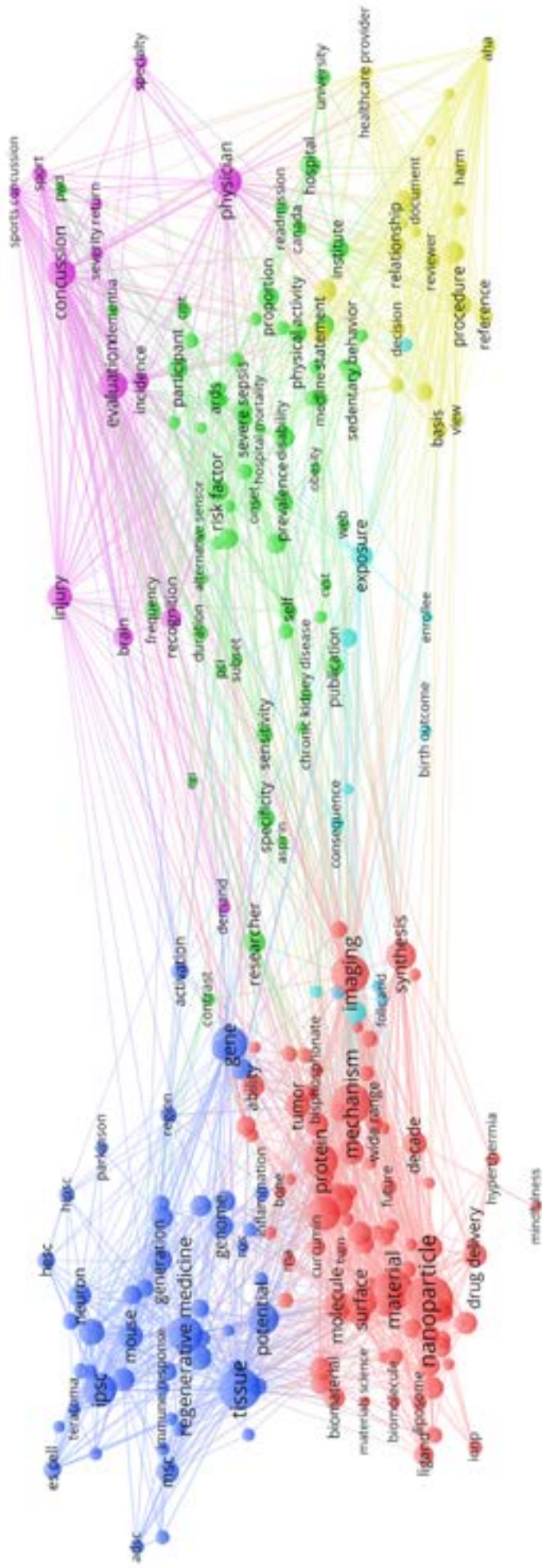
Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Web of Science

Семантический анализ статей, опубликованных по тематике «Медицина» в 2000-2010 гг.



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

Семантический анализ статей, опубликованных по тематике «Медицина» в 2010-2016 гг.



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

Радиоэлектроника

Основные вызовы области

Центральным элементом развития области является вопрос вычислительной техники и информатики.

Потребность в мощных устройствах для обработки информации

Возможности современной электроники отстают от потребностей для обработки информации. Появляется потребность в компьютерах, работающих на принципиально других скоростях. Возникает необходимость создания аппаратных и программных платформ на новых принципах: уход от Тьюрингового компьютеринга, широкое использование альтернативных архитектур.

Потребность в новых материалах:

углерод, нанопористые материалы рассматриваются как альтернатива

Потребность в физической интеграции электроники и живых организмов/человека:

улучшение здоровья, расширение физических возможностей человека

Переход на экологически чистые технологии в электронной промышленности

Требование радикального снижения трудоемкости в проектировании сложнофункциональных компонентов и систем на их основе

Методы проектирования сложнофункциональных радиоэлектронных устройств (микропроцессоров), используемые сегодня, неэффективны.

Применение аддитивных технологий для производства электронных и микроэлектронных компонентов

Необходимо отказаться от комплексов, создающих микросхемы, чтобы получить возможность создавать конечный продукт «на столе», аналог локального принтера.

Обеспечение потребностей смежных отраслей: астрофизика, робототехника

Развитие электроники для нужд энергетики: производство электроники без источников питания (из энергии воздуха)

Сверхсложные, сверхбыстрые, нелинейные системы

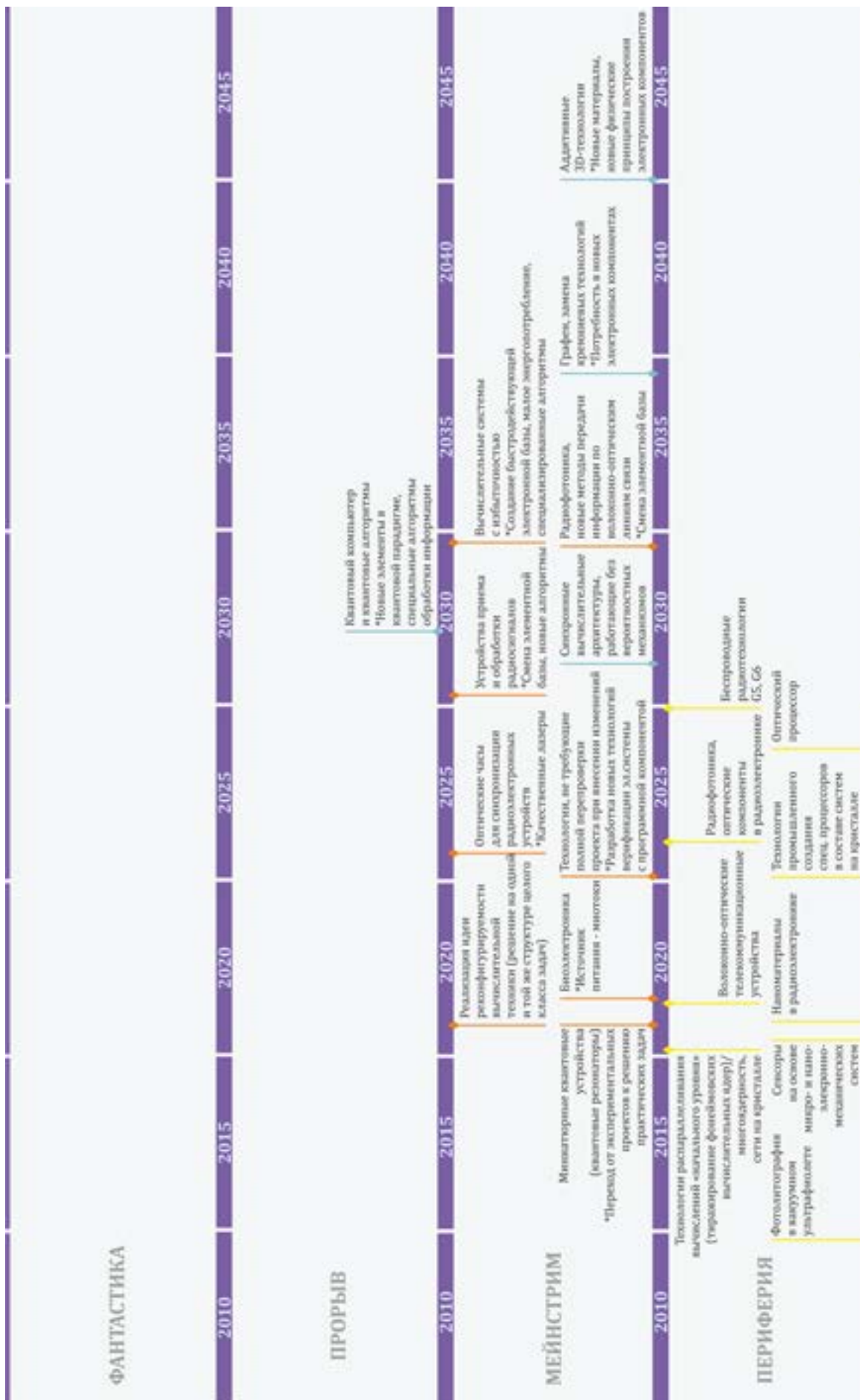


Е. Крук: «Мейнстрим – это для меня, в первую очередь, беспроводные технологии передачи информации. Сегодня у нас лежит в кармане устройство, в котором заключены эти самые передатчик и приемник в одном корпусе, которым все мы пользуемся. Эта вещь основана не только на результатах микроминиатюризации, не только на том, что достигнуты огромные успехи в развитии вычислительной техники, но и на изменении архитектуры, алгоритмов. Произошел огромный прорыв в области создания алгоритмов обработки и передачи информации с привлечением математических методов в такую техническую отрасль, как связь»

МЕЙНСТРИМ		ПРОРЫВ	
Радиофотоника (оптические компоненты в радиоэлектронике)	Волоконно-оптические телекоммуникационные устройства и системы	Вычислительные системы с избыточностью	Технологии, не требующие полной перепроверки при внесении изменений
Оптический процессор	Технологии распараллеливания вычислений «начального уровня» (тиражирование фонеймовских вычислительных ядер)	Радиофотоника (передовые методы передачи информации по волоконно-оптическим линиям связи), новые методы в радиофотонике для передачи информации	Миниатюрные квантовые устройства
Технология промышленного создания спец. процессоров в составе систем на кристалле	Фотолитография в вакуумном ультрафиолете	Устройства приема и обработки радиосигналов	Оптические часы для синхронизации радиоэлектронных устройств
Сенсоры на основе микро- и нанозлектронных механических систем	Беспроводные радиотехнологии (G5, G6)		Реализация идеи реконфигурируемости вычислительной техники (решение на одной и той же структуре целого класса задач)
ПЕРИФЕРИЯ		ФАНТАСТИКА	
Устройства и компоненты на основе поверхностно-акустических волн	Интегральная микроэлектроника, стандартные фотолитографические технологии	Квантовый компьютер и квантовые алгоритмы	Синхронные вычислительные архитектуры, работающие без вероятностных механизмов
Повышение производительности вычислительных устройств экстенсивными методами (сокращение проектных норм, повышение рабочей частоты)	Стандартные телекоммуникационные системы и сети до 10 ГГц	Аддитивные 3D-технологии	
	Типовые космические радиоэлектронные системы	Графен, замена кремниевых технологий	

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

Радиоэлектроника. Таймлайн точек бифуркации научной карты
(*указаны условия, при которых произойдет смена вектора и типа развития научной карты)



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

1. Сенсоры, носимая электроника

Носимые технологии – это устройства, носимые на теле, как часы, очки, ювелирные изделия, и аксессуары; или в теле – заглатываемые либо имплантируемые. Они состоят из трех модульных компонентов: датчики, дисплеи и вычислительная архитектура. Носимое устройство может включать в себя одну, две или все три функции. Носимые технологии рассматриваются как экосистема, расширяющая возможности, которые по отдельности интересны, но более убедительны в комбинации.

Одним из наиболее ярких примеров носимых технологий является Google Glass, представляющая сочетание очков с миниатюрной компьютерной системой и экраном. Однако на этом группы носимых технологий не ограничиваются.

Понятие «носимые технологии» относится к широкому спектру видов технологий и материалов, быстро развивающихся во всем мире. Главным преимуществом носимых технологий является полная интеграция в повседневную жизнь пользователя и взаимодействие 24/7, при том что технология не перетягивает на себя внимание пользователя, но органично дополняет окружающую действительность.

Важность носимых технологий признала Европейская комиссия, которая косвенным образом обеспечивает поддержку «ключевых перспективных технологий» в рамках программы Horizon 2020.

Основные направления развития носимых технологий:

- **содействие высоким показателям здоровья**

Датчики и алгоритмы потенциально могут дать возможность занять более активную позицию в управлении личным благополучием. Технологии предлагают более целостный взгляд на здоровье, могут внести свой вклад в модели профилактики, ранней диагностики и постоянного ухода.

- **персонализированный контекст**

Непрерывное подключение расширяет свободный поток информации и возможности распознавания различных устройств и платформ. В пределах определенного контекста эти системы могут делиться опытом, который означает большее значение для жизни людей, устройств и платформ.

- **биотехнические внедрения**

Технологии чипов и сенсоров становятся всё более изощренными и движутся в сторону миниатюризации и сокращения дистанции с телом пользователя. Поскольку эта эволюция продолжается, мы сможем наблюдать более глубокую интеграцию в сторону единения с биологическими системами человека.

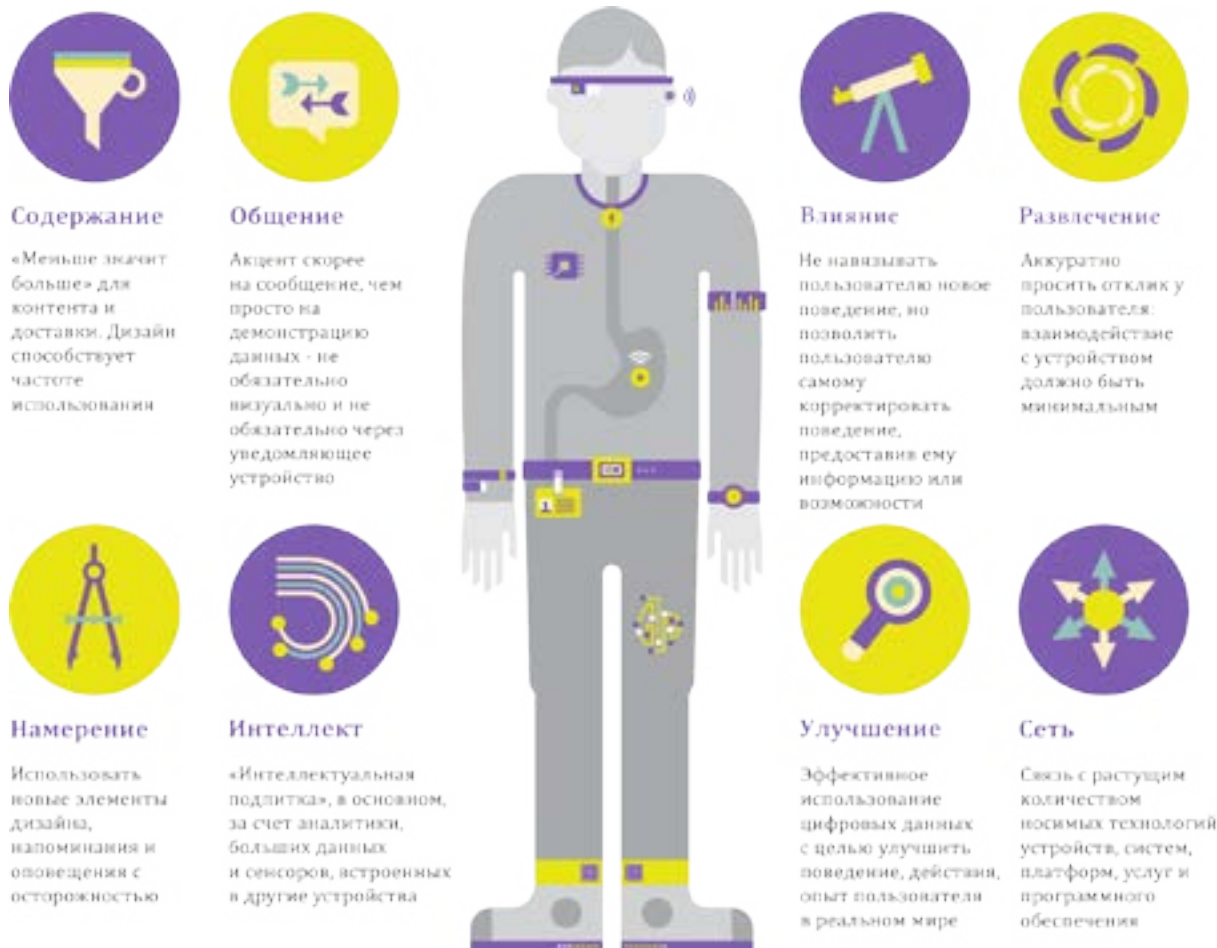
- носимые устройства работают с большим объемом данных о ключевых показателях здоровья; они разрабатываются для бесшовной синхронизации с более широкой экосистемой подключенных технологий.



Источник
изображения:
diamandis.com

П. Диамандис: «К 2025 г. экран, как мы его знаем – на телефоне, компьютере и телевизоре, – исчезнет и будет заменен оправой очков, не Google Glass, но стильными эквивалентами. Результатом будет массовый сбой в ряде отраслей промышленности, начиная от потребительской розницы до недвижимости, образования, путешествий, развлечений, а также основных способов, которыми мы работаем»

Основные принципы разработки носимых технологий



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам по материалам Deloitte University Press

- носимые технологии улучшают свои возможности отслеживания и реагирования на более широкий круг человеческих ресурсов, от распознавания жестов до биометрии, для создания естественной формы связи и вычислительной техники. Поскольку эти интерфейсы продолжают развиваться, мы можем ожидать более дружественное пользовательское взаимодействие, которое обещает более широкий доступ и большую гибкость.
- повседневные формы носимых технологий, таких как «умные» часы, будут автоматически связаны с учетными записями социальных

сетей. Концепция конфиденциальности информации может оказаться под серьезной угрозой, если такие технологии смогут незаметно обойти согласие пользователя на обмен данными.

Предполагается, что носимые технологии могут также трансформировать нашу моду, привести к появлению новых видов искусства и культуры. Компании, поддерживающие интеграцию различных технологий с одеждой, найдут новую нишу на рынке.

П. Диамандис: «К 2025 г. рынок IoT превысит 100 млрд подключенных устройств. Это приведет к экономике триллиона датчиков и означает революцию данных за пределами нашего воображения»



Источник изображения: diamandis.com

И. Денисюк: «Биочипы уже сейчас производятся, хотя они пока дорогие. В общем-то, это реалии уже ближайших лет. Через достаточно небольшое время это просто войдет в жизнь»



2. Радиопотоника

Фотоника часто называется аналогом электроники, использующим вместо электронов кванты электромагнитного поля, фотоны, наиболее распространенные по численности частицы. В отличие от электронов, они не имеют массы и заряда, соответственно, фотонные системы не подвержены внешним электромагнитным полям, обладают гораздо большей дальностью передачи и шириной полосы пропускания сигнала.

Сейчас объем только европейского рынка фотоники превышает 65,8 млрд евро, поддерживая при этом 377 тыс. рабочих мест в 5000 компаний. Поместив это в контекст мирового рынка фотоники, объемом 355 млрд евро в год, можно с уверенностью

3. Графен

Графен – первый двумерный наноматериал, полученный искусственным путем, обрабатывается из графита. Материал представляет собой модификацию углерода, образованную слоем атомов углерода толщиной в один атом. Основные свойства графена – устойчивость к воздействию среды, высокая тепло- и электропроводимость, механическая прочность и малый вес. Свойства графена позволяют создать сверхлегкие и устойчивые композиционные материалы, способные, в том числе, заменить сталь.

Возможности создания наноэлектронных устройств из графена всё еще изучаются. Отсутствие в графене запрещенной зоны означает, что его электропроводность невероятно высока, но при этом его практически невозможно полностью изолировать.

Ряд устройств на основе графена уже есть на рынке, в том числе сенсорные экраны на основе графена; другие (гибкие электрофоретические дисплеи для электронных книг) находятся на стадии прототипа; разработка прототипов устройств отображения на основе графена (гибкие сенсорные экраны, складные OLED-мониторы), скорее всего, будет развернута в течение ближайших пяти лет.

Графен может также стать причиной появления следующего поколения электроники:

- **носимые технологии**

Использование графена позволяет создать гибкую носимую электронику, а в силу своей проводимости он может использоваться для создания небьющихся сенсорных экранов.

утверждать, что сейчас фотоника находится в том же положении, как электроника 50 лет назад. Более того, сравнивая основные элементы двух наук, можно отметить, что фотоника к настоящему времени накопила все инструменты, доступные электронике. Эти сходства ведут к тому, что, вероятно, в будущем станет возможно заменить приборы, использующие электронный поток (мобильные телефоны, компьютеры, дисплеи и т.д.) эквивалентными устройствами, использующими фотонный или плазменный поток.

В настоящее время электроника и фотоника основаны на песке (кремнии и диоксиде кремния), в будущем основой может стать углерод или графен, на выбор.

- **транзисторы**

С помощью графена можно создать транзисторы малых размеров: чем меньше размер транзистора, тем лучше его свойства в пределах цепей. Соответственно, основная задача, стоящая перед электронной промышленностью в ближайшие 20 лет, – дальнейшая миниатюризация технологии. Более того, транзисторы на основе графена способны работать на более высоких частотах, чем транзисторы на основе кремния.

- **полупроводники**

Уникальные свойства графена – разреженность и проводимость – открывают возможности использовать материал в качестве полупроводника. При толщине в один атом с возможностью проводить электричество графеновые полупроводники при комнатной температуре могут заменить существующую технологию для компьютерных чипов. Исследования уже показали, что графеновые чипы намного быстрее, чем кремниевые.

- свойство графена изменять структуру меди может применяться для обеспечения теплопроводности и, следовательно, разработки более быстрых схем, что делает возможным создание более мощных компьютерных систем, использующих больше транзисторов.
- легкие, ультраэффективные конденсаторы на основе графена значительно быстрее, чем стандартные аккумуляторы.
- графен может быть использован для создания более эффективных фотодетекторов в мощных суперкомпьютерах, которые используют свет, а не электроны для передачи данных.

- 3D-вариант материала может изменить системы охлаждения гаджетов. Графен является хорошим проводником тепла, однако он имеет ограничения: тепло перемещается по поверхности материала, но при переходе между слоями возникают трудности. Проблему можно решить путем создания 3D-структуры графена, что потенциально сможет обеспечить беспрепятственный теплообмен во всех направлениях.

4. Квантовый компьютер

Прогнозируется, что уже в недалеком будущем квантовые компьютеры могут стать необходимостью: потребности в производительности компьютерных процессоров уже сейчас обгоняют развитие классической электроники. При этом производительность традиционных процессоров не может расти до бесконечности. Соответственно, создание квантового компьютера, способного решать некоторые важные вычислительные задачи гораздо быстрее обычного, рассматривается как одно из возможных направлений развития. Базовые квантовые компьютеры для выполнения определенных расчетов уже созданы, однако квантовых компьютеров, способных решать любую задачу, пока не существует. При этом исследования, по большей

части, направлены не столько на создание квантовых компьютеров, сколько на отработку базовых технологий: в первую очередь, создание кубитов.

Кубиты представляют собой атомы, могут выступать в качестве компьютерной памяти и процессора. Поскольку квантовый компьютер может содержать несколько состояний одновременно, он имеет потенциал работать в миллионы раз производительнее самых мощных современных суперкомпьютеров. Квантовые компьютеры, по прогнозам, могут заменить кремниевые. Но пока необходимые технологии недостижимы – большинство исследований в квантовых вычислениях всё еще носят теоретический характер.

Графен предлагает значительные возможности для технологических инноваций, однако подача материала не отлажена. Поставки графена могут негативно влиять на окружающую среду, поскольку доминирующий процесс производства графена предполагает использование высокотоксичных химических веществ и, соответственно, нуждается в пересмотре.



Источник изображения: D-Wave

D-Wave Systems в августе 2015 г. объявила о выпуске квантового компьютера D-Wave 2X.

Без учета времени на загрузку/выгрузку данных устройство способно решать задачи по оптимизации в 600 раз быстрее обычного компьютера. С учетом загрузки/выгрузки информации D-Wave 2X работает в 15 раз быстрее, чем обычный компьютер



В. Заборовский: «Думаю, «точка сингулярности» наступит тогда, когда в сети Интернет «заработают» настоящие квантовые компьютеры. Увы, мы пока не понимаем, как можно создать универсальные квантовые компьютеры, которые легко программировать и которыми легко управлять. Квантовая логика отличается от логики работы современных компьютеров, поэтому, даже создав квантовый компьютер, мы не сможем просто переписать в него существующее программное обеспечение. Так что работы в области компьютерных наук предстоит много. Сегодня все прототипы квантовых вычислителей работают при температуре около 0 градусов Кельвина (то есть вычисления происходят в холодильнике при температуре в районе -273 градусов Цельсия). Завабно, если современный супервычислитель – это, скорее, компьютер-печка, то квантовый компьютер больше похож на компьютер-холодильник. Мы же работаем над тем, чтобы квантовый компьютер мог работать при комнатной температуре»

5. Органическая и печатная электроника

Органические и печатная электроника – революционно новый тип электроники, который дает возможность одноразового использования электронных устройств и новых приложений.

Органическая электроника основана на комбинации нового класса материалов и производства устройств большей площади. По существу множество различных понятий, обозначающих органическую электронику, означают одно: новая электроника за пределами классического подхода.

Органическая и печатная электроника основана на сочетании новых материалов (гибридных и экономически эффективных), включении новых приложений, которые не представляются возможными для обычной электроники. Ключевое преимущество органической и печатной электроники – возможность сделать тонкие, легкие, гибкие, прочные и экологически безвредные электронные продукты. Это также делает возможным появление широкого диапазона электрических компонентов, которые могут быть получены и непосредственно интегрированы в недорогие процессы.

К безусловным преимуществам органической электроники относятся относительно простые технологии изготовления устройств, их гибкость и, конечно, возможности изготовления изделий большой площади, что особенно актуально для экранов и систем освещения.

Интеллектуальная упаковка, OLED-освещение, печатные многофункциональные системы, гибкие экраны, гибкие солнечные батареи, электронная одежда, одноразовые диагностические устройства или игры, гибкие сенсорные экраны. Это лишь несколько примеров перспективных областей применения для органической электроники. В связи с этим органическая электроника рассматривается как ключевой фактор будущего, где функциональность будет встроена в повседневные объекты.

Органическая электроника может использоваться и сама по себе, и как часть гибридной системы, объединяющей печатные, органические компоненты и кремний. Эти гибридные системы будут особенно важны в ближайших поколениях продуктов.

Тамлайн развития органической и печатной электроники

OLED-освещение	Жесткие модели для декоративных источников B2B и B2C	Гибкое освещение для декоративных целей	Массовое производство гибкого освещения	Общее освещение
	2015 г. и раньше	2016-2018 гг.	2019-2022 гг.	2023+
Органические солнечные батареи	Потребительские электронные зарядные устройства, солнечные лампы, архитектурные инсталляции	Потребительская электроника, мобильные источники питания, источники питания BIPV и BAPV	Мобильные источники питания, IoT, встроенные в здания, подключение к сети среднего размера	Промышленные фотоэлектрические системы, подключаемые к общим сетям
	2015 г. и раньше	2016-2018 гг.	2019-2022 гг.	2023+
Гибкие и OLED-дисплеи	Изогнутые OLED-телевизоры, гибкие OLED-дисплеи, мобильные OLED-дисплеи, электронные книги, носимая электроника	Выпрессованные дисплеи, (полу-)прозрачные гнущиеся дисплеи, OLED-мониторы и телевизоры	Портативные сворачиваемые OLED-дисплеи, (полу-)прозрачные дисплеи, сворачивающиеся в рулон	Растягивающиеся дисплеи, сворачиваемые OLED-телевизоры, сворачиваемая потребительская электроника
	2015 г. и раньше	2016-2018 гг.	2019-2022 гг.	2023+
Электроника и компоненты	Первичные батареи, защита бренда, прозрачные проводящие пленки и датчики касания без ITO	Аккумуляторы, прозрачные датчики касания, отражательные элементы дисплея, гибкие и широко-охватные датчики касания без ITO	Многоэлементные батареи, беспроводная память, печатные логические схемы, сгибаемые сенсоры касания и движения без ITO	Смарт-объекты, интегрирующие активные и пассивные компоненты; полностью интегрируемые сенсоры касания и движения
	2015 г. и раньше	2016-2018 гг.	2019-2022 гг.	2023+
Интегрированные умные системы	Одежда с интегрированными датчиками, противокражные, умные этикетки с датчиками температуры, печатные сенсоры и тестовые полоски	Сенсорные этикетки NFC, умная упаковка, интегрированные в одежду системы	Многоэлементные батареи, беспроводная читаемая память, печатные логические схемы, сгибаемые сенсоры касания и движения без ITO	OLED на текстиле, одноразовые системы мониторинга здоровья, беспроводные сенсоры для умных зданий

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам OE-A

Анализ динамики публикационной активности по тематике «Радиоэлектроника»

Анализ динамики публикаций в смежных с радиоэлектроникой категориях не показал значительных изменений по сравнению с данными на 2004 г.

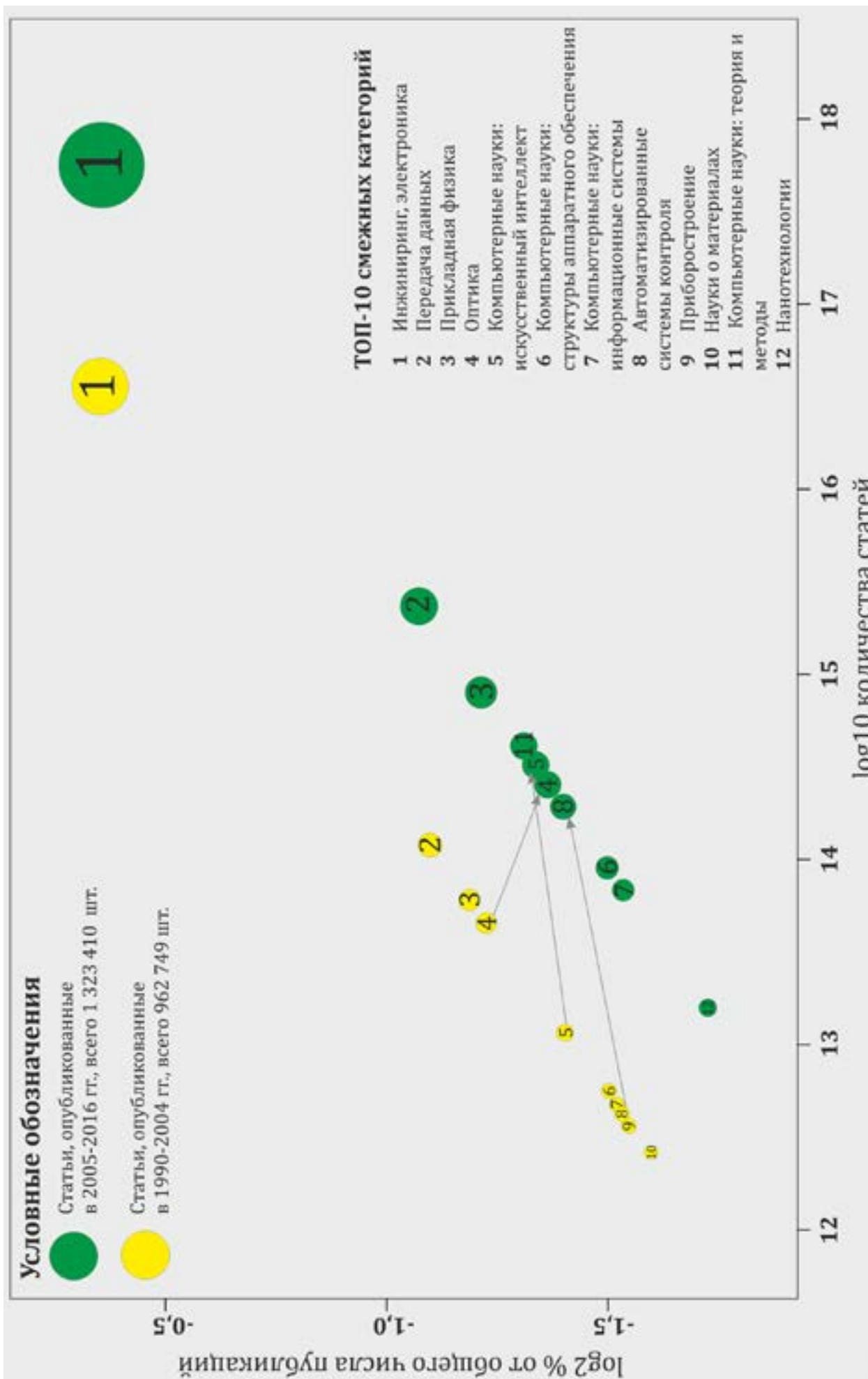
Наибольший рост в общей доле публикаций отмечен по следующим смежным категориям:

- компьютерные науки: искусственный интеллект;
- автоматизированные системы контроля;
- компьютерные науки: теория и методы;
- нанотехнологии.

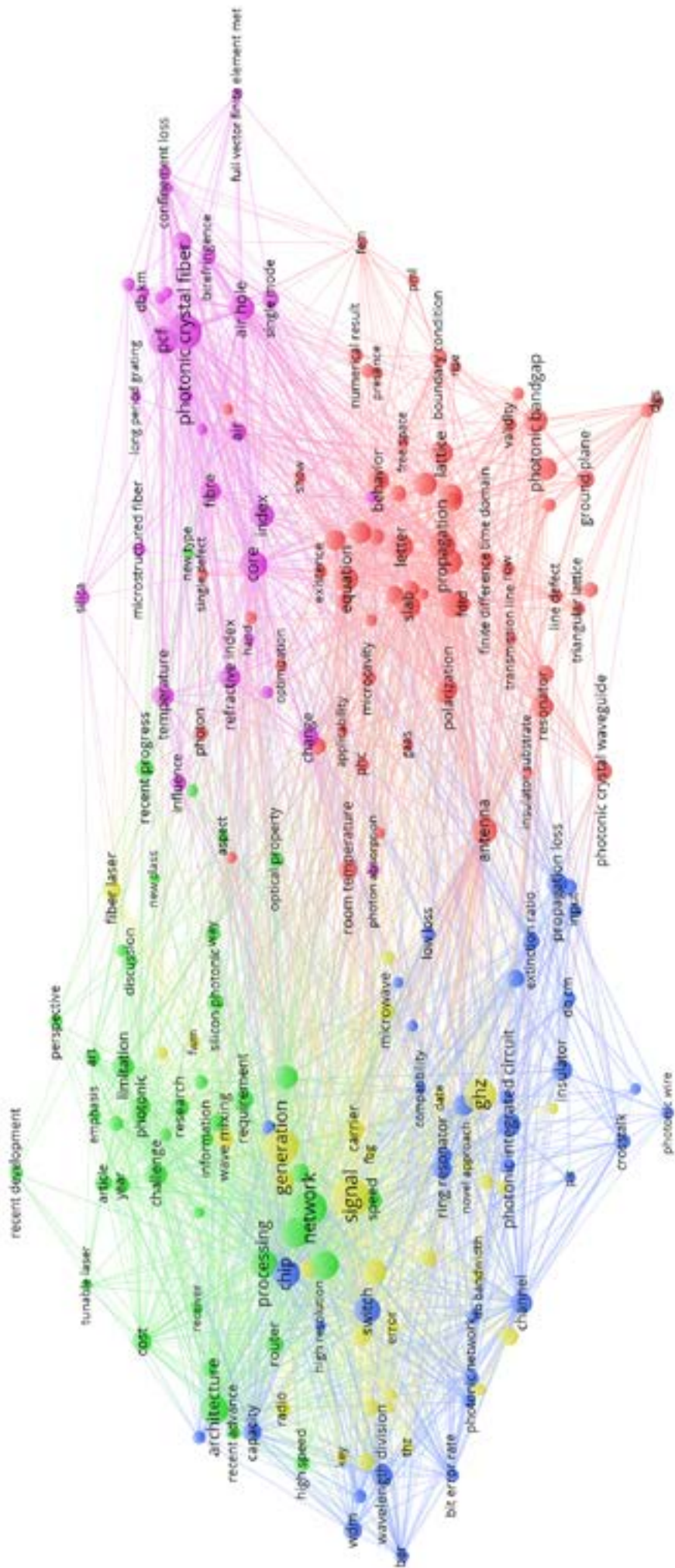
Наибольшее снижение зафиксировано по публикациям в смежной категории «Оптика».

В то же время семантический анализ высоко цитируемых статей (10% самых цитируемых статей от общего количества, при генеральной совокупности >5000), опубликованных по тематике «Радиоэлектроника» в период 2010–2016 гг. (относительно периода 2000–2010 гг.) показывает смещение акцента в сторону исследований в области радиофотоники.

Динамика публикаций статей в смежных с радиоэлектроникой категориях

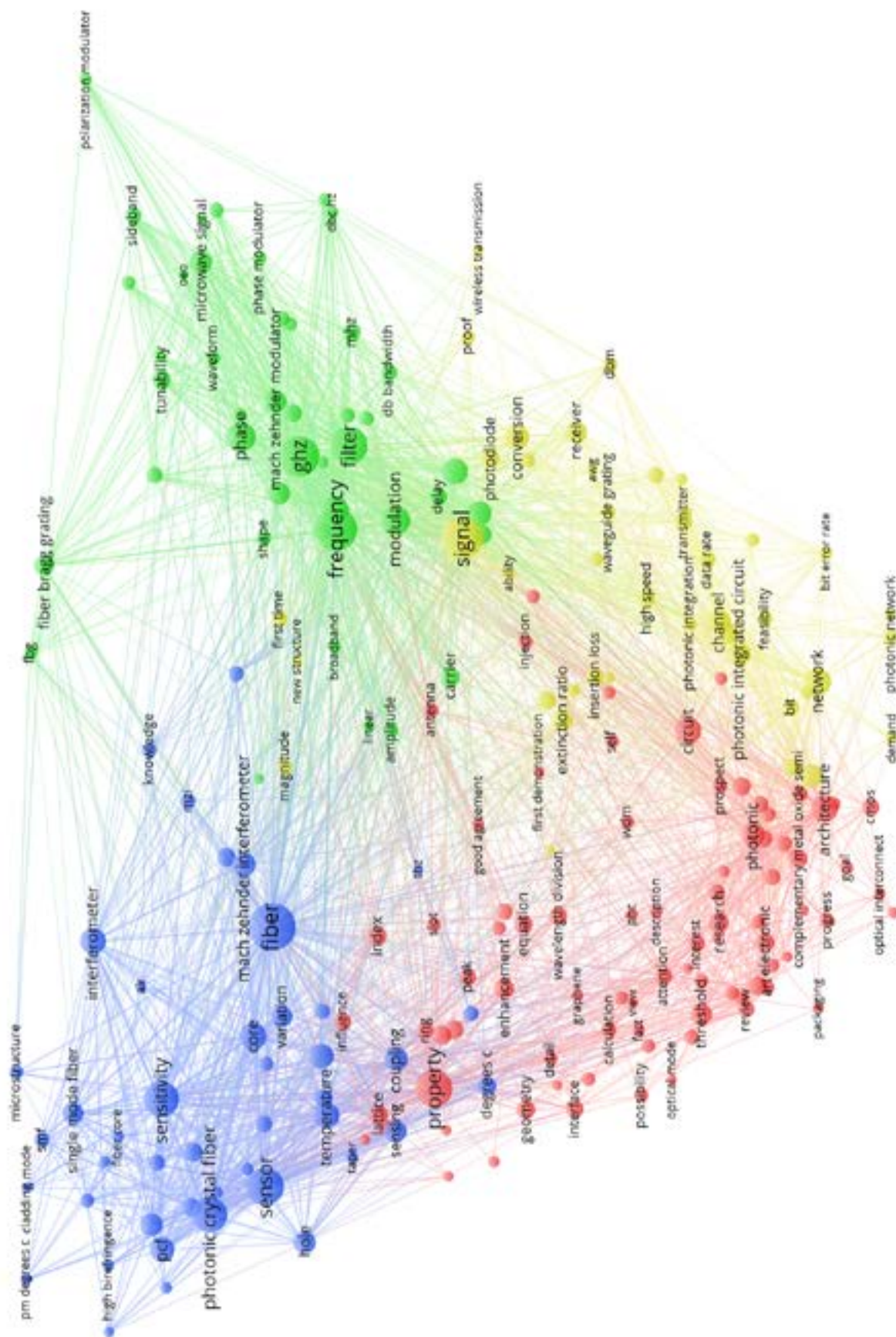


Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Web of Science



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

Семантический анализ статей, опубликованных по тематике «Радиоэлектроника» в 2010-2016 гг.



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

Робототехника и интеллектуальные системы

Основные вызовы области

Мультидисциплинарность

В традиционном (представленном в мейнстрим-источниках) понимании, робототехника является прикладной наукой, специализирующейся на разработке автоматизированных технических систем различного применения. В то же время существует представление, что робототехника должна быть дополнена за счет широкомасштабного внедрения в отрасль междисциплинарных направлений.

Более радикальная точка зрения настаивает на том, что робототехника в контексте будущего должна быть рассмотрена не как отдельная отрасль, но в обязательной связи с:

- облачными вычислениями;
- искусственным интеллектом;
- мобильностью;
- большими данными;
- интернетом вещей;
- кибербезопасностью.

Причина связи в том, что прогресс всех семи технологических отраслей тесно связан между собой. По отдельности технологии имеют, безусловно, важное значение и возможность трансформировать многие сферы. Вместе же они представляют синергию, способную революционизировать общество.

Формирование научной базы для разработки новых эффективных вычислительных алгоритмов и усложнение объектов для вычислений

Существующая научная парадигма в области робототехники должна измениться (в горизонте 50 лет), чтобы получить способность решать новые задачи, связанные не только с управлением, но и со взаимодействием, нейросемантикой.

Ограниченные возможности для роботизированной обработки на производстве

Несмотря на то, что робототехника имеет большой потенциал для развития в производстве, сегодняшние возможности серьезно ограничены зоной досягаемости роботов, их грузоподъемностью, «неумением» избегать препятствий, а также необходимостью их программирования, что довольно затратно по времени.

Робототехника на производстве необходима не только для обработки, но и для программирования. Автоматизация некоторых процессов – серьезный вызов, поскольку робототехника, как и вычислительные алгоритмы, имеет достаточно ограниченные возможности, но потребности отрасли растут постоянно.

Д. Муромцев: «Понятие «робототехника» должно быть расширено. Конструирование роботов сегодня – это набор масштабных междисциплинарных направлений, связанных как с техническими, так и с гуманитарными науками. Нужно говорить о более масштабных системах.

Мультидисциплинарность – это настоящий вызов, который заключается в том, что базовые принципы, теории кочуют из одной науки в другую. Хороший пример – эволюционные принципы, которые перекочевали в кибернетику и информатику из биологии и позволили построить принципиально новый класс решений, другой пример – квантовые вычисления и так далее»



Р. Брукс: «Совместное обучение в облаке для роботов – это одна из наиболее важных концепций по поводу будущего робототехники: когда роботы связаны в облаке, они могут обмениваться данными о своем опыте, и при этом значительно развить навыки быстрого «обучения» в реальном мире»

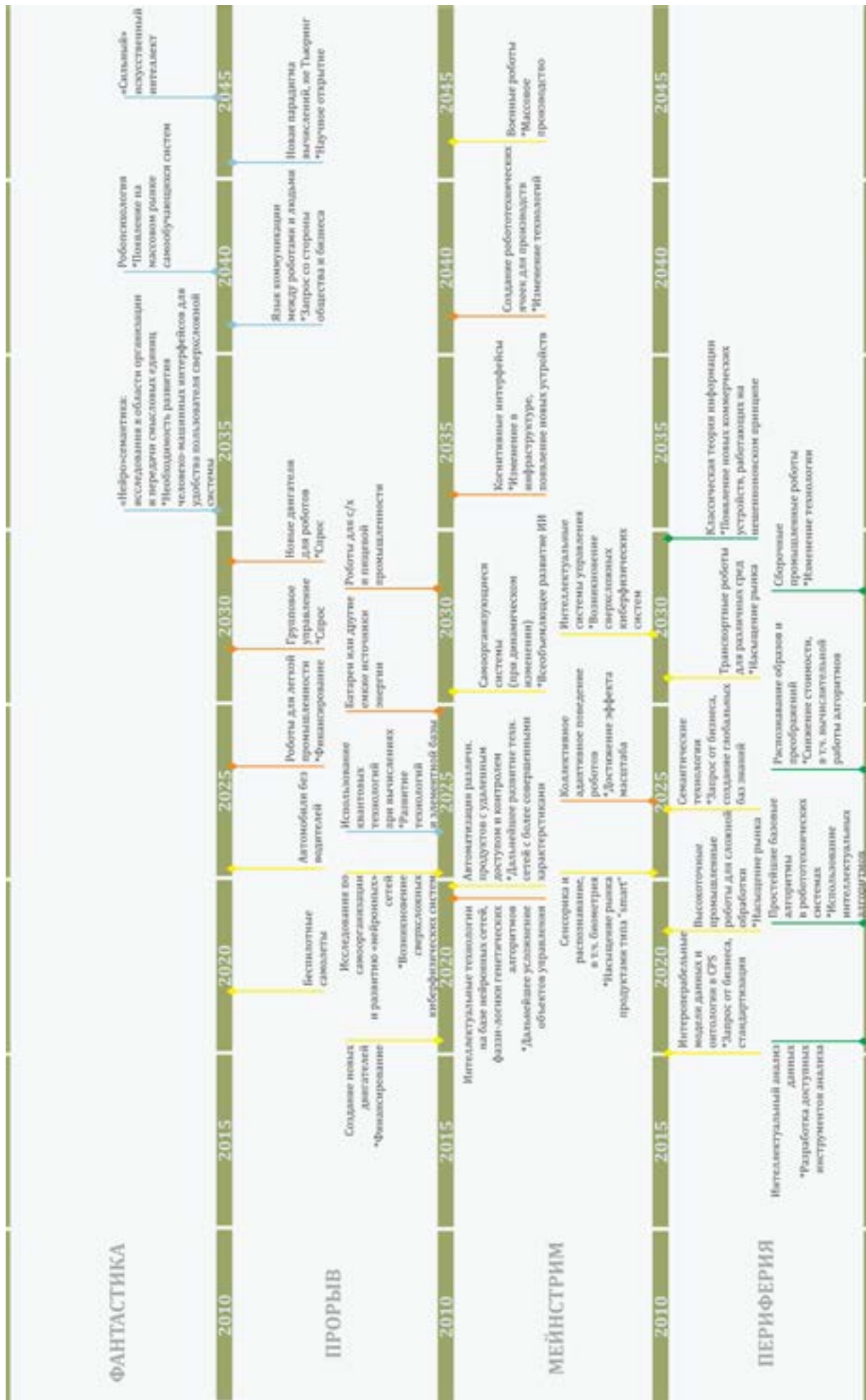


Источник изображения: MIT

МЕЙНСТРИМ		ПРОРЫВ	
Беспилотные самолеты	Самоорганизующиеся системы (при динамическом изменении)	Роботы для легкой промышленности	Групповое управление
Техническое зрение	Сенсорика и распознавание, в т.ч. биометрия	Роботы для сельского хозяйства и пищевой промышленности	Интеллектуальные технологии на базе нейронных сетей, фаззи-логики генетических алгоритмов
Автомобили без водителей	Высокоточные промышленные роботы для сложной обработки	Новые двигатели для роботов	Когнитивные интерфейсы
Создание новых двигателей	Сервисные, транспортные, военные роботы	Батареи и другие емкие источники энергии	Создание робототехнических ячеек для производства
Исследования по самоорганизации и развитию «нейронных» сетей	Шагающие роботы	Исследования по самоорганизации и развитию «нейронных» сетей	Киберфизические системы
Интероперабельные модели данных и онтологии в CPS	Интеллектуальные системы управления	Создание нанороботов	Коллективное адаптивное поведение роботов
Семантические технологии		Язык коммуникации между роботами и людьми	Автоматизация различных процессов с удаленным доступом и контролем
Гибкие роботизированные ячейки			
Беспилотные автоматические склады			
Автоматизация процессов с удаленным доступом и контролем			
ПЕРИФЕРИЯ		ФАНТАСТИКА	
Интеллектуальные технологии на базе нейронных систем	Сборочные промышленные роботы	«Нейро»семантика: исследования в области организации и передачи смысловых единиц	«Сильный» искусственный интеллект
Распознавание образов и преобразований	Классическая теория информации	Робопсихология	Биокомпьютинг в системах управления
Простейшие (базовые) алгоритмы в робототехнических системах	Игровые образовательные роботы	Квантовые технологии для вычислений	Язык коммуникации между роботами и людьми
		Новая парадигма вычислений (не Тьюринг)	Использование квантовых технологий при вычислениях

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

Робототехника. Таймлайн точек бифуркации научной карты
 (*указаны условия, при которых произойдет смена вектора и типа развития научной карты)



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

Основные тенденции развития робототехники и интеллектуальных систем

Как ожидается, робототехника в течение следующих десятилетий станет столь же всеобщим явлением, как компьютерные технологии сегодня. Ключевым драйвером

1. Производственная робототехника

Роботы используются в производстве уже 50 лет. Традиционной отраслью с широким применением роботов является автомобильная промышленность. Совсем недавно сектор электроники принял на себя доминирующую роль.

Продажи робототехники для производства выросли в США на 44% с 2011 года, что является безусловным показателем активизации производственной системы робототехники США. При этом тренд использования роботов смещается от крупных компаний, таких как GM, Ford, Boeing и Lockheed Martin, в сторону малых и средних предприятий.

Прогнозируется, что дальнейший прогресс

развития робототехники является мегатренд старения населения, который приводит к старению рабочей силы, а также вызывает ряд проблем в системе здравоохранения.

робототехники для производства зависит от прогресса в области комплексного проектирования, интеграции от проектирования до производства, новых методов для интеграции киберфизических систем, а также более высокой степени компьютерно-опосредованного производства.

Наиболее перспективными для развития представляются следующие технологии:

- точные системы позиционирования внутри помещений для мобильных манипуляторов, особенно в динамических средах;
- системы датчиков на основе безопасности для усиления взаимодействия робота и человека;
- способность безопасного управления роботом на производстве.

Таймлайн развития робототехники для производства





Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты по робототехнике США

2. Робототехника для медицины

Робототехника имеет значительный потенциал развития в медицине и здравоохранении.

За последние несколько лет наблюдался ежегодный рост числа медицинских процедур, осуществляемых с помощью роботов (более 40%). Использование роботов в хирургии приводит к уменьшению количества осложнений на 80%, а также позволяет значительно сократить время госпитализации и восстановления после операции. В связи со старением населения, число ожидаемых хирургических процедур с использованием роботов, как ожидается, удвоится в течение

следующих 15 лет.

Поиск эффективных технических решений для обеспечения ухода за пожилыми людьми, а также людьми с тяжелыми формами инвалидности является одним из целого ряда вопросов, необходимых для снижения социально-экономических последствий будущего изменения. Робототехника имеет большой потенциал для решения этой проблемы по ряду показателей:



Источник изображения: MIT

Р. Брукс: «В связи с трендом старения населения можно столкнуться с ситуацией, когда пожилые люди должны будут ухаживать за действительно пожилыми людьми. В случае подобного сценария возникают неограниченные возможности для рынка робототехники»

- обеспечение автоматизации систем повседневной деятельности, таких как уборка и приготовление пищи, что позволяет пожилому человеку обходиться меньшим количеством посторонней помощи;
- обеспечение помощи в мобильности и личной гигиене.
- обеспечение контроля за состоянием человека, возможность вызвать помощь при необходимости;
- обеспечение социального взаимодействия.

Таким образом, существует необходимость интегрировать робототехнику в хирургические, коммуникационные системы и системы дистанционного мониторинга здоровья.

Наиболее перспективными для развития представляются следующие технологии:

- телемедицина и расширенное физическое взаимодействие (хотя метод зачастую вызывает вопросы, предполагается, что количество проводимых процедур с использованием технологии телеприсутствия значительно вырастет в ближайшее десятилетие);
- миниатюрные механические системы и датчики;
- мониторинг состояния пациента и улучшение данных во время процедуры.

Таймлайн развития робототехники для медицины



Вмешательство с наличием информационной навигации дополнит практику робохирургии «картой» всех доступных данных	Роботы, совместимые с УЗИ и МРТ, и робо-процедуры, которые проводятся во время съемки	Информационная карта обновляется за счет данных, полученных в режиме реального времени. Интерфейсы позволяют хирургам без труда подключиться к карте данным и к роботу	Контрольные системы, понимающие цель хирурга; автоматический помощник врача, использующий полное текущее изображение для генерации модели
	2018	2023	2028
Манипуляции высокой ловкостью позволят проводить минимально инвазивные операции	При абдоминальной операции эндоскоп вводится через ротовую полость в желудок; после завершения операции поврежденные ткани восстанавливаются	Ловкий змееподобный робот и беспроводные роботы для операций (размером в 1 см)	Совокупность беспроводных милли- и микророботов, выполняющих операцию и направляющих кровяные сосуды при необходимости

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты по робототехнике США

3. Сервисная робототехника

Роботы используются в сфере как профессиональных, так и бытовых услуг. Профессиональные сервисные приложения включают в себя осмотр электростанций,

инфраструктуры и логистики. Ежегодный прирост подобных услуг в США составляет 30%.

Таймлайн развития сервисной робототехники

Мобильность и управление	Определение и выполнение перегрузочных операций в неупорядоченных 2D средах; создание или изучение карты с описанием места и объектов, умозаключения умеренной сложности	Планирование и выполнение задач при ограниченности знаний о ситуации; в конечном итоге изменение ситуации для выполнения поставленной задачи; выявление и предотвращение неудач	Функционирование в новых неупорядоченных средах, построение карт, исследование, планирование, изменение ситуации, умозаключение
	2018	2023	2028
Когнитивные способности	Обучение навыкам посредством распознавания речи и жестов	Изучение сложных последовательностей пользователей; восстановление после простых ошибок	Распознавание намерений и навыков приспособления для оказания помощи пользователям
	2018	2023	2028

	2018	2023	2028
Навыки восприятия	Сервисные роботы анализируют окружающую среду все время и воспринимают подходящие для задания характеристики многих типов объектов	Способность распознавания в быстро меняющейся среде, в т. ч. воспринимать человеческую деятельность; обучение и способность адаптации позволяет работать в течение долгого времени	Сервисные роботы объединяют несколько сенсорных модальностей для построения моделей новых систем и для эффективной работы в течение долгого времени в динамическом пространстве
Физическое, интуитивное взаимодействие робот-человек	Способность обучать роботов простым задачам, таким как речь, физические движения/жесты	Демонстрация программирования задач уровня сложности, сравнимого с приготовлением еды	Демонстрация программирования сложных задач, которые осуществляются за время, сопоставимое с длительностью работы
Приобретение навыков	Роботы смогут научиться основным навыкам путем наблюдения, методом проб и ошибок	Приобретение более сложных навыков и применение навыков и знаний в конкретных ситуациях	Непрерывное получение и совершенствование навыков и их использование во всех задачах и ситуациях

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты по робототехнике США



Источник изображения: MIT

Р. Брукс: «До 2018 г. ожидается широкое распространение и доступность роботов-помощников, КоБотов (CoBot), предназначенных для физического взаимодействия с людьми в совместной рабочей зоне, безопасного оказания помощи в выполнении определенных задач. Роботы, «обученные» повторять определенное движение, со временем заменят людей на низкооплачиваемой, повторяющейся физической работе на производственных линиях»

4. Робототехника для сельского хозяйства и пищевой промышленности

Использование робототехники в сельском хозяйстве имеет перспективы для расширения: повсеместное распространение доильных роботов побудило к поиску более широких возможностей, предлагаемых робототехникой. Продвижение этой области дает возможность развернуть крупномасштабные системы в реальных условиях, когда результаты могут воздействовать на широкий круг смежных рынков конечных пользователей:

сельскохозяйственный сектор, лесную промышленность и рыболовство.

Сегодня существует большое количество приложений для робототехники в сельском хозяйстве, некоторые уже внедрены. Преимущества существенны с точки зрения повышения урожайности, землепользования, снижения воздействия на окружающую среду, эффективного управления. Способность собирать данные и оценивать состояние посевов и скота делает возможным повышение эффективности.

Использование автономных или полуавтономных сельскохозяйственных транспортных средств, которые могут взаимодействовать друг с другом, приведет к синхронизации движения и эффективности сбора и упаковки продуктов.

При этом селективный сбор продукции позволит выявить незрелые культуры, оставив их в поле для дальнейшего созревания. В систему будет встроена функция отслеживания, чтобы вести статистику фермы, урожайности, мониторинг состояния почвы, уровня вредных организмов, а также питательных веществ для всех контролируемых объектов. Все это в конечном итоге приведет к оптимизации процесса земледелия.

5. Робототехника для военной промышленности

Область военной робототехники развивается наиболее активно. Военная робототехника специализируется на разработке автоматических систем ведения боя, разведки, обнаружения и уничтожения противника. Роботизированные системы, разработанные для военного применения, как правило, именуется беспилотными системами. Беспилотные системы обеспечивают огромную гибкость, стойкие функциональные

В течение от пяти до десяти лет уровень автоматизации, как ожидается, значительно возрастет, особенно в земледелии и управлении животноводством.

Наиболее перспективными видятся следующие технологии:

- интуитивное и распределенное планирование;
- автоматизация сбора и переработки;
- синхронизация и координация между сельскохозяйственными машинами и оборудованием для обработки.

В итоге предполагается, что автономные, GPS-контролируемые сельскохозяйственные человекоподобные роботы будут настолько дешевы, что смогут заменить фермеров и работать 24 часа в сутки, 7 дней в неделю.

возможности, способность снизить риск для человеческой жизни и оказывать содействие во всех ключевых областях ведения боевых действий. Они также повышают боевой потенциал, в том числе самообеспечение, мобильность, защиту и выживаемость/ силу. Таким образом, снижается нагрузка на оборону и риски для сил, ответственных в этих областях, обеспечивается раннее предупреждение и информирование об опасных зонах.

Таймлайн развития беспилотных летательных систем для военной промышленности





Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты по робототехнике США

Таймлайн развития беспилотных морских систем для военной промышленности



	2018	2023	2028
Логистика	Автоматическая заправка; автоматизированный мониторинг жизнеобеспечения; автоматизированная очистка корпуса; непрерывная инспекция судов и береговых установок	Автоматизированная шлифовка и покраска; автоматизированное профилактическое обслуживание судовых и береговых установок; поддержание состояния судов	Полностью автоматизированное функционирование корабля (без воздействия оператора)

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты по робототехнике США

Таймлайн развития беспилотных наземных транспортных средств для военной промышленности

Информированность Осознание	2018 Самостоятельное позиционирование для оптимального секторального охвата	2023 Самостоятельное размещение и самостоятельное восстановление боевой единицы	2028 Группа датчиков, отвечающая за оптимальную работу покрытия сектора
Применение СИЛЫ	2018 Пехота тяжелого вооружения, способная вести боевые операции. Возможность лазерного целеуказания	2023 Совместные захваты «земля-воздух», «земля-земля» и «воздух-земля»	2028 Сотрудничество и способность обеспечить огонь на поражение и маневрировать против фиксированной позиции
Защита	2018 Системы пожаротушения	2023 Вооруженные системы, способствующие безопасности флангов	2028 Совместное участие беспилотных наземных систем для противостояния угрозе
Логистика	2018 Автоколонна, из пилотируемых и беспилотных наземных транспортных средств, в которой несколько пилотируемых транспортных средств способны самостоятельно двигаться по второстепенным дорогам в качестве как лидирующего, так и ведомого транспортного средства	2023 Беспилотная медицинская эвакуация. Беспилотные транспортные средства способны автономно выгружать, загружать грузы при всех экологических условиях	2028 Система управления полностью автоматизированной логистики

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам дорожной карты по робототехнике США

6. Автономный транспорт и беспилотные автомобили

Во всем мире наблюдается значительный интерес к автономному транспорту, в основе которого лежат технологии робототехники. Со временем «более умный» автомобильный транспорт имеет потенциал обеспечить действительно гибкую интегрированную транспортную систему.

В то же время беспилотные автомобили не являются футуристической идеей. Автомобильные компании (Mercedes, BMW, Nissan, Volvo, General Motors, Audi, Tesla) ведут разработки и тестирование прототипов автомобилей с функцией самостоятельного вождения; при этом IT-компании (Google, Apple) также стремятся к созданию полноценного

беспилотного автомобиля.

Беспилотные автомобили можно разделить на два типа: (1) полуавтономные, (2) полностью автономные. По прогнозам Business Insider, полностью автономные автомобили будут разработаны к 2019 году. В то же время, по прогнозам Business Insider, дополнительно потребуется не менее 5–10 лет на то, чтобы завершить урегулирование вопросов страхования. Ожидается, что к концу прогнозируемого периода объем рынка устройств будет составлять около 10 миллионов автомобилей.

По прогнозам, самым большим преимуществом беспилотных автомобилей является то, что они имеют потенциал сделать дороги безопаснее, а жизнь людей легче.

Прогноз развития автономных автомобилей (АА)



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Bloomberg

М. Игнатъев: «Майнстрим – умные дома и дороги, автомобили без водителей, беспилотные летательные аппараты, интеллектуальные подводные роботы и суда»



Р. Курцвейл: «К 2019 г. на дорогах будут преобладать самоуправляемые автомобили. К концу 2020-х гг. автоматизированные автомобили начнут вытеснять управляемые автомобили, люди не будут иметь возможности ездить по скоростным магистралям»



Источник изображения: Google+

7. Создание «сильного» искусственного интеллекта (ИИ)

Необходимым условием наступления технологической сингулярности является создание «сильного» искусственного интеллекта.

Когда речь идет о создании искусственного интеллекта, принято выделять три категории масштаба систем ИИ.

- 1. Специализированный (слабый) искусственный интеллект,** специализирующийся в одной области, за пределами которой этот вид ИИ не «работает». Подобные системы уже существуют практически повсюду.
- 2. Общий (сильный) искусственный интеллект, ОИИ.** Такие системы могут составить конкуренцию человеку в любой области, соответственно, их создание – более сложная задача, чем создание СИИ.

Именно разработка общего искусственного интеллекта активно ведется на разных уровнях.

Во-первых, проекты, подобные Human Brain Project, нацелены на создание полноценной компьютерной модели функционирования человеческого мозга посредством моделирования нейронов. Во-вторых, IBM Watson, DeepMind ведут усиленные разработки систем искусственного интеллекта нового

поколения и имеют определенные успехи уже сегодня.

Прогноз создания общего искусственного интеллекта

Средний оптимистичный год (10% вероятности) → 2022

Средний реалистичный год (50% вероятности) → 2040

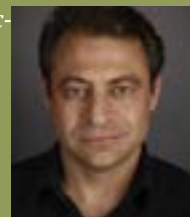
Средний пессимистичный год (90% вероятности) → 2075

С. Голд: «Необходимо не больше трех лет для того, чтобы «тест Тьюринга» был решен. Все пять человеческих чувств (включая вкус, запах и осязание) станут частью рутинного компьютерного опыта. Системы ИИ помогут решить некоторые из наиболее сложных проблем общества. В течение следующих трех лет ИИ будет интегрирован во все окружающие системы, объединив сенсоры и сети, сделав все системы «умными»»



Источник изображения: LinkedIn

П. Диамандис: «Исследования искусственного интеллекта добьются успехов в следующем десятилетии. Поколение «Сири» следующего десятилетия будет иметь более расширенные возможности для понимания и ответов. Через десятилетие будет нормой для нас позволить ИИ слушать все разговоры, читать электронную почту и сканировать биометрические данные»



Источник изображения: diamandis.com

3. Суперинтеллект (СИИ). Безусловно, интеллект, превосходящий ум всех людей, – пока фантастика. Возможность создания суперинтеллекта – причина, по которой тема ИИ имеет важное значение, и именно это является условием для наступления технологической сингулярности.

Прогноз перехода от ОИИ к СИИ

За 2 года – вероятность 10%

За 30 лет – вероятность 75%

Прогноз создания общего искусственного интеллекта и суперинтеллекта



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам waitbutwhy.com



В. Заборовский: «Футурологи пугают нас тем, что как только в результате информационно-вычислительной революции будет создан искусственный интеллект, который по своим физическим, техническим и ресурсным возможностям превзойдет мозг отдельного человека и человечества в целом, наша цивилизация может потерять контроль над развитием технологий и станет лишним звеном в эволюции природы. Думаю, что все гораздо сложнее и имеет много граней. Интеллект, как утверждают ученые, можно поделить на целых 12 подвидов, и если нам с помощью компьютеров и удастся создать «логический» или «математический» его подвиды, то внутриличностный или интуитивный интеллект компьютерам точно не будет смоделирован еще много лет. Так что до создания «искусственного творца» еще очень далеко»

8. Нанороботы

Нанороботы – устройства размером 0.1–10 мкм, созданные из наноразмерных или молекулярных компонентов. Несмотря на то, что в биологической наноробототехнике имеется определенный прогресс (появился ряд тестируемых прототипов), искусственные небиологические нанороботы все еще остаются гипотетическими концепциями.

Основные потенциальные области применения нанороботов:

- **медицина**

Большинство исследований нанороботов сосредоточено в медицине. В качестве перспектив использования рассматриваются доставка лекарств и полезных веществ в клетки, уничтожение инфекций и раковых клеток, борьба с генетическими нарушениями на молекулярном уровне. Нанороботы могут работать в том же масштабе, что и вирусы, раковые заболевания и бактерии, так что они смогут вести борьбу с ними в человеческом теле. Другая важная задача – обеспечивать функционирование тканей и органов на оптимальном уровне.

- **строительство и машиностроение**

Перспективное использование: для создания более сложных устройств или для выполнения особо деликатных ремонтных работ на небольших системах.

- **военная промышленность**

Исследования нанороботов для армии в основном сосредоточены на защите солдат во время боя – например, усовершенствовании бронезилета, способного восстановиться в случае повреждения. Другие потенциальные сферы применения – восстановление оборудования на поле боя, а также подслушивающие устройства, которые практически невозможно обнаружить. Ведутся активные разработки нанороботов в качестве оружия на молекулярном уровне. Размер роботов делает их чрезвычайно трудными для обнаружения. В случае реализации концепции нанороботы могут оказаться одним из крупнейших прорывов с момента появления атомной бомбы.

- **космонавтика**

Одним из возможных применений нанороботов может быть их включение в костюмы космонавтов в миссиях на другие планеты: нанороботы смогут прикрепляться к космонавту в случае аварийной ситуации для ремонта повреждений костюма.

М. Игнатъев: «Прорыв – создание нанороботов, которые станут основной элементной базой для всего машиностроения и строительства, обеспечивая малозатратную утилизацию устаревших машин и конструкций»



Р. Курцвейл: «К 2040-м гг. нанороботы (фоглеты) смогут создавать еду и любой субъект из воздуха»



Источник изображения: Google+

Анализ динамики публикационной активности по тематике «Робототехника»

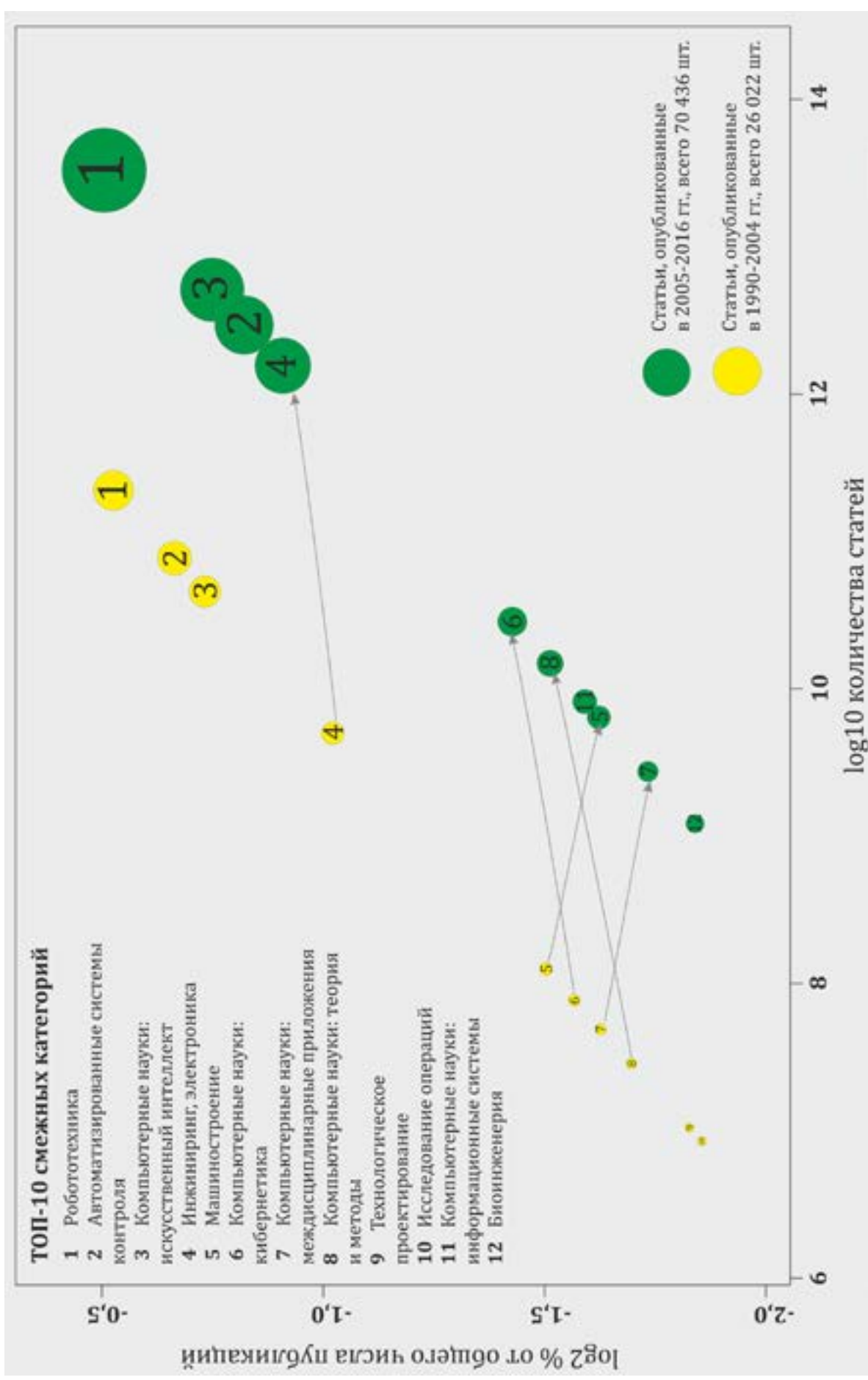
Анализ динамики публикаций в смежных с робототехникой категориях показал значительный рост актуальности исследований по робототехнике: с 2004 г. зафиксирован 60%-й прирост объема публикаций.

Более того, зафиксирована постепенная смена акцента исследований в сторону междисциплинарных приложений. Так, с 2004 г. продемонстрирован значительный рост публикаций в следующих смежных категориях:

- инженеринг, электроника;
- компьютерные науки: кибернетика;
- компьютерные науки: теория и методы.

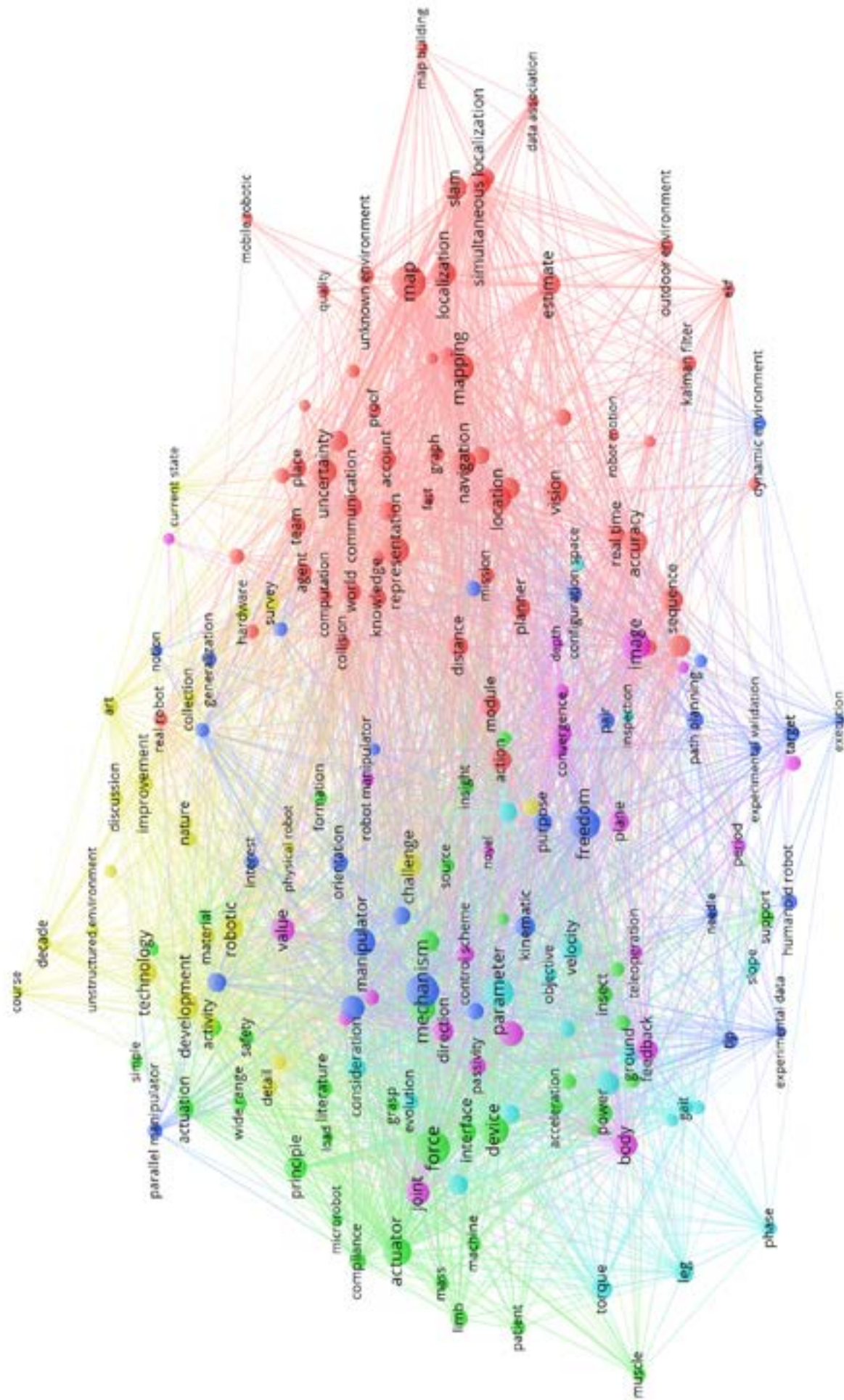
При этом публикационная активность по робототехнике в традиционном понимании (машиностроение) постепенно снижается.

Семантический анализ высоко цитируемых статей (10% самых цитируемых статей от общего количества, при генеральной совокупности >5000), опубликованных по тематике «Робототехника» в период 2010–2016 гг., не показал значительных изменений по сравнению с периодом 2000–2010 гг.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Web of Science

Семантический анализ статей, опубликованных по тематике «Робототехника» в 2000-2010 гг.



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

Заключение

Сводный таймлайн развития основных научных событий в области астрофизики, лазерных технологий, медицины, радиоэлектроники и робототехники, согласно предсказаниям российских и зарубежных ученых



Источник: ЦСР «Северо-Запад»

Библиография

Документы

1. A Roadmap for U.S. Robotics. From Internet to Robotics. 2013 Edition –Robotics VO, 2013. URL: <https://robotics-vo.us/sites/default/files/2013%20Robotics%20Roadmap-rs.pdf> (дата обращения: 03.03.2016)
2. Enduring Quests. Daring Visions. NASA Astrophysics in the Next Three Decades – NASA, 2013. URL: http://science.nasa.gov/media/medialibrary/2013/12/20/secure-Astrophysics_Roadmap_2013.pdf (дата обращения: 23.03.2016)
3. Organic and Printed Electronics. Summary – OE-A Roadmap, 6th Edition – OE-A, 2015. URL: <http://www.oe-a.org/roadmap> (дата обращения: 15.04.2016)
4. Optics and Photonics. Essential Technologies for Our Nation. The National Research Council of the National Academies – The National Academies Press, 2013. URL: <http://www.nap.edu/catalog/13491/optics-and-photonics-essential->

Аналитические отчеты

8. Bob Gourley. White Paper: The Seven Megatrends Creating The Future of Information Technology -- CTOvision.com, 2015. URL: <https://ctovision.com/2015/10/cambric-the-seven-megatrends-creating-the-future-of-information-technology/> (дата обращения: 20.03.2016)
9. Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy – McKinsey Global Institute, 2013. URL: <http://www.mckinsey.com/business-functions/business-technology/our-insights/disruptive-technologies> (дата обращения: 15.03.2016)
10. Dr. Google, Dr. Watson and the Care Map. 6 Trends in Health and Healthcare -- Kairos Future, 2014. URL: <http://www.kairosfuture.com/publications/reports/dr-watson-dr-google-och-wardkartan/> (дата обращения: 12.03.2016)
11. Jim Carroll. 25 Trends for 2025. URL: <https://www.jimcarroll.com/2014/12/25-trends-for-2025/#.VzsVvuRTL8k> (дата обращения: 18.03.2016)
12. Healthcare and Life Sciences. Predictions 2020. A bold future? – Deloitte Centre for Health

technologies-for-our-nation (дата обращения: 01.04.2016)

5. Strategic Research Agenda for Robotics in Europe 2014-2020 – SPARC. The Partnership for Robotics in Europe, 2014. URL: https://eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020_SPARC.pdf (дата обращения: 03.03.2016)
6. Strategic Research and Innovation Agenda for Nanomedicine 2016 – 2030. ETP Nanomedicine and in the ERA-Net EuroNanoMed, 2016. URL: <http://www.etp-nanomedicine.eu/public/press-documents/publications/etpn-publications/Nanomedicine%20SRIA%202016-2030.pdf> (дата обращения: 03.04.2016)
7. Robotics 2020. Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe. Call 2 ICT24 – Horizon 2020 – SPARC. The Partnership for Robotics in Europe, 2015 URL: https://eu-robotics.net/cms/upload/Multi-Annual_Roadmap2020 ICT-24_Rev_B_full.pdf (дата обращения: 03.03.2016)

Solutions, 2014. URL: <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Life-Sciences-Health-Care/gx-lshc-healthcare-and-life-sciences-predictions-2020.pdf> (дата обращения: 19.03.2016)

13. Lieve Van Woensel and Geoff Archer. Ten Technologies which could change our lives. Potential Impacts and Policy Implications. In-depth Analysis – European Parliamentary Research Service, 2015. URL: http://www.europarl.europa.eu/EPRS/EPRS_IDAN_527417_ten_trends_to_change_your_life.pdf (дата обращения: 19.03.2016)
14. OLED for lighting - technology, industry and market trends. Market & Technology report – Yole Development, 2016. URL: <http://www.oled-info.com/oled-lighting-technology-industry-and-market-trends> (дата обращения: 25.04.2016)
15. Tech Trends 2014. Inspiring Disruption – Deloitte University Press, 2014 URL: <http://www2.deloitte.com/global/en/pages/technology/articles/Tech-Trends-2014.html> (дата обращения: 03.03.2016)

16. Tech Trends 2016. Innovating in the Digital Era – Deloitte University Press, 2016. URL: <http://dupress.com/articles/tech-trends-introduction/> (дата обращения: 03.03.2016)

17. The “big data” revolution in healthcare. Accelerating value and innovation. McKinsey and Company, 2013 URL: <http://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/the-big-data-revolution-in-us-healthcare> (дата обращения: 03.03.2016)

18. The Data Explosion and the Future of Health. What every decision-maker in the health and healthcare

Статьи и монографии

21. Bertalan Mesko. The Guide to the Future of Medicine: Bringing Disruptive Technologies to Medicine and Healthcare // <http://medicalfuturist.com/wp-content/media/2013/10/the-guide-to-the-future-of-medicine-white-paper.pdf>

22. Bertalan Mesko. The Guide to the Future of Medicine: Technology and the Human Touch – Webicina Kft., 2014

23. Bioprinting Infographic. URL: <http://www.printerinks.com/bioprinting-infographic.html> (дата обращения: 11.03.2016)

24. Bob Yirka. Graphene plasmons used to create tunable terahertz laser – Phys.org, 2016. URL: <http://phys.org/news/2016-01-graphene-plasmons-tunable-terahertz-laser.html> (дата обращения: 20.04.2016)

25. Brian Krassenstein. Organovo’s Bioprinting Future Certainly Looks Bright — CEO Keith Murphy Provides Interesting Insight – 3DPrint.com. The voice of 3D Printing Technologies, 2015. URL: <https://3dprint.com/93493/organovos-bioprinting-future/>

26. Brian Krassenstein. Organovo Only 4-6 Years Away From 3D Printing Partial Livers For Human Implantation – 3DPrint.com. The voice of 3D Printing Technologies, 2014. URL: <https://3dprint.com/21025/organovo-3d-printed-livers/> (дата обращения: 28.03.2016)

27. Christine Vu. IBM’s Silicon Photonics Technology Ready to Speed up Cloud and Big Data Applications. – IBM, 2015. URL: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/46839.wss> (дата обращения: 27.04.2016)

28. Christopher Barnatt. 3D Printing: The Next Industrial Revolution, 2013

29. Comfort Osonnaya. The future of medical innovations: Evaluating the trends – International Innovation, 2015. URL: <http://www.internationalinnovation.com/the-future-of-medical-innovations-evaluating-the-trends/> (дата

industries need to know about the coming revolution – Kairos Future. URL: <http://www.skane.se/pages/524556/thedataexplosionandthefutureofhealth.pdf> (дата обращения: 15.03.2016)

19. The Future of Wearable Tech – PSFK, 2014. URL: <http://www.psfk.com/report/future-of-wearable-tech> (дата обращения: 15.03.2016)

20. Wearable Electronics. Sensors for Wearable Electronics & Mobile Healthcare – Yole Development, 2015. URL: http://www.yole.fr/WearableElectronics_Overview.aspx#VzxtWuSgojo (дата обращения: 28.04.2016)

обращения: 14.04.2016)

30. Dexter Johnson. Graphene Offers Emission Tunability for Terahertz Lasers – IEEE SPECTRUM, 2016. URL: <http://spectrum.ieee.org/nanoclast/semiconductors/materials/graphene-offers-emission-tunability-for-terahertz-lasers>

31. Erin Mahoney. How Will NASA’s Asteroid Redirect Mission Help Humans Reach Mars? – NASA, 2014. URL: <http://www.nasa.gov/content/how-will-nasas-asteroid-redirect-mission-help-humans-reach-mars> (дата обращения: 12.04.2016)

32. First all-optical chip memory, -- Kurzweil Accelerating Intelligence, 2015. URL: <http://www.kurzweilai.net/first-all-optical-chip-memory>

33. Gregory Berman. Wearing healthcare devices – evolution or revolution – Kinneir dufort, 2016. URL: <http://www.kinneirdufort.com/news/wearing-healthcare-devices-%E2%80%93-evolution-or-revolution> (дата обращения: 01.04.2016)

34. Is Silicon Photonics a disruptive technology? – Light Counting, 2016. URL: http://www.lightcounting.com/News_012916.cfm (дата обращения: 27.04.2016)

35. Jade Bridges. Wearable Technology: Protecting the Future in Electronic Developments – Electrolube the Solutions people. URL: <http://www.electrolube.com/technical-articles/wearable-technology-protecting-the-future-in-electronic-developments/> (дата обращения: 27.04.2016)

36. James Morra. All-Optical Switch Could Push Electronics Out of Future Processors – Electronic Design, 2015. URL: <http://electronicdesign.com/microprocessors/all-optical-switch-could-push-electronics-out-future-processors> (дата обращения: 28.04.2016)

37. Jennifer Ouellette. Seeing the Future in Photonic Crystals – University of Sidney, <http://www.physics.usyd.edu.au/theory/seamouse/PressClippings/p14.pdf> (дата обращения: 22.04.2016)

38. Jesse Moryn. Optical Computing: Light and the Future of Computing – Gillware Data Recovery, 2015. URL: <https://www.gillware.com/articles/optical-computing-light-and-the-future-of-computing> (дата обращения: 28.04.2016)
39. John Greenough. 10 million self-driving cars will be on the road by 2020 – Business Insider, 2015. URL: <http://www.businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6> (дата обращения: 15.04.2016)
40. Keith Naughton. Can Detroit Beat Google to the Self-Driving Car? – Bloomberg, 2015. URL: <http://www.bloomberg.com/features/2015-gm-super-cruise-driverless-car/> (дата обращения: 20.04.2016)
41. Lisa Huff. Silicon Photonics – Are We Past the Hype? – Connector+Cable Assembly Supplier, 2015. URL: <http://www.connectorsupplier.com/silicon-photonics-are-we-past-the-hype/> (дата обращения: 22.04.2016)
42. Megan North. Space and Technology Review: Asteroid Detection and Mining – Singularity HUB, 2016. URL: <http://singularityhub.com/2016/02/19/space-and-technology-review-asteroid-detection-and-mining/> (дата обращения: 11.04.2016)
43. Megan North. Space and Technology Review: Our Home Among the Stars – Singularity HUB, 2016. URL: <http://singularityhub.com/2016/02/05/ggc-space-part-i-the-disruption-of-aerospace/> (дата обращения: 11.04.2016)
44. Megan North. Space and Technology Review: The Race to the Moon and Mars – Singularity HUB, 2016. URL: <http://singularityhub.com/2016/02/12/space-and-technology-review-the-race-to-the-moon-and-mars/> (дата обращения: 11.04.2016)
45. Mike Keller. These Engineers 3D Printed a Mini Jet Engine, then Took it to 33,000 RPM – GE, 2015. URL: <http://www.gereports.com/post/118394013625/these-engineers-3d-printed-a-mini-jet-engine-then/> (дата обращения: 12.04.2016)
46. New terahertz source could strengthen sensing applications – Phys.org, 2016. URL: <http://phys.org/news/2016-03-terahertz-source-applications.html> (дата обращения: 28.04.2016)
47. Pawel Susiak. When Will The First Machine Become Superintelligent? Predictions from Top AI Experts – Medium, 2016. URL: <https://medium.com/ai-revolution/when-will-the-first-machine-become-superintelligent-ae5a6f128503#.6gl20ivck> (дата обращения: 27.04.2016)
48. Peter Diamandis. A Genomics Revolution: Evolution by Natural Selection to Evolution by Intelligent Direction – Singularity HUB, 2015. URL: <http://singularityhub.com/2015/09/28/a-genomics-revolution-evolution-by-natural-selection-to-evolution-by-intelligent-direction/> (дата обращения: 25.03.2016)
49. Peter Diamandis. Exponential Medicine: Healthcare Is Broken, Here's How We're Going Fix It – Singularity HUB, 2015. URL: <http://singularityhub.com/2015/11/10/exponential-medicine-healthcare-is-broken-heres-how-we-are-going-fix-it/> (дата обращения: 25.03.2016)
50. Peter Diamandis. How 3D Printing Is Transforming the Way We Make Things – Singularity HUB, 2015. URL: <http://singularityhub.com/2016/03/07/how-3d-printing-is-transforming-the-way-we-make-things/> (дата обращения: 25.04.2016)
51. Peter Diamandis. How Robots and Sensors Will Transform Transportation, Agriculture, and Elder Care – Singularity HUB, 2015. URL: <http://singularityhub.com/2015/09/21/how-robots-and-sensors-will-transform-transportation-agriculture-and-elder-care/> (дата обращения: 21.03.2016)
52. Peter Diamandis. Ray Kurzweil's Mind-Boggling Predictions for the Next 25 Years – Singularity HUB, 2015. URL: <http://singularityhub.com/2015/01/26/ray-kurzweils-mind-boggling-predictions-for-the-next-25-years/> (дата обращения: 24.03.2016)
53. Peter Diamandis. Robot Revolution: These Are the Breakthroughs You Should Watch – Singularity HUB, 2016. URL: <http://singularityhub.com/2016/03/15/robot-revolution-these-are-the-breakthroughs-you-should-watch/> (дата обращения: 24.03.2016)
54. Peter Diamandis. The World in 2025: 8 Predictions for the Next 10 Years – Singularity HUB, 2015. URL: <http://singularityhub.com/2015/05/11/the-world-in-2025-8-predictions-for-the-next-10-years/> (дата обращения: 24.03.2015)
55. Peter Diamandis. Where Artificial Intelligence Is Now and What's Just Around the Corner – Singularity HUB, 2016. URL: <http://singularityhub.com/2016/02/15/where-artificial-intelligence-is-now-and-whats-just-around-the-corner/> (дата обращения: 24.03.2016)
56. Sebastian Anthony. By 2020, you could have an exascale speed-of-light optical computer on your desk – Extreme Tech, 2014. URL: <http://www.extremetech.com/extreme/187746-by-2020-you-could-have-an-exascale-speed-of-light-optical-computer-on-your-desk> (дата обращения: 12.12.2016)

57. Steve Chaplin. Can computers save health care? IU research shows lower costs, better outcomes. Indiana University, 2013 // <http://newsinfo.iu.edu/news-archive/23795.html> (дата обращения: 12.04.2016)
58. Sveta McShane, Jason Dorrier. Ray Kurzweil Predicts Three Technologies Will Define Our Future? – Singularity HUB, 2016. URL: http://singularityhub.com/2016/04/19/ray-kurzweil-predicts-three-technologies-will-define-our-future/?utm_content=buffer2de87&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (дата обращения: 26.04.2016)
59. The 40 Trends Driving the Future of Medicine – The Medical Futurist, 2016. URL: <http://medicalfuturist.com/trends-future-of-medicine> (дата обращения: 03.04.2016)
60. Tim Urban. The AI Revolution: The Road to Superintelligence, 2015 URL: <http://waitbutwhy.com/2015/01/artificial-intelligence-revolution-1.html> (дата обращения: 17.04.2016)
61. Tim Urban. The AI Revolution: Our
- Immortality or Extinction – Wait But Why, 2015. URL: <http://waitbutwhy.com/2015/01/artificial-intelligence-revolution-2.html> (дата обращения: 17.04.2016)
62. Top 10 Breakthroughs for 2015, 2015. URL: <http://www.diamandis.com/blog/top-10-breakthroughs-for-2015> (дата обращения: 27.04.2016)
63. Tracy McMahan. Piece by Piece: NASA Team Moves Closer to Building a 3-D Printed Rocket Engine, 2015. URL: <http://www.nasa.gov/centers/marshall/news/news/releases/2015/piece-by-piece-nasa-team-moves-closer-to-building-a-3-d-printed-rocket-engine.html> (дата обращения: 12.04.2016)
64. Quan Li, Zhen Tian, Xueqian Zhang, Ranjan Singh, Liangliang Du, Jianqiang Gu, Jiaguang Han & Weili Zhang. Active graphene–silicon hybrid diode for terahertz waves – Nature Communications, 2015. URL: <http://cdpt.ntu.edu.sg/Documents/Active%20graphene%E2%80%93silicon%20hybrid%20diode%20for%20terahertz%20waves.pdf> (дата обращения: 25.04.2016)

Прочие информационные материалы

65. Asteroid Impact & Deflection Assessment Mission – NASA. URL: <https://www.nasa.gov/planetarydefense/aida> (дата обращения: 20.04.2016)
66. Asteroid Impact & Deflection Assessment Mission, 2015. URL: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Asteroid_Impact_Mission/Asteroid_Impact_Deflection_Assessment_mission (дата обращения: 18.03.2016)
67. Bioness. URL: <http://www.bioness.com/Home.php> (дата обращения: 02.04.2016)
68. BioStamp Research Connect. URL: <https://mc10inc.com/our-products/biostamprc> (дата обращения: 01.04.2016)
69. Brains in Silicon. Stanford University. URL: <https://web.stanford.edu/group/brainsinsilicon/neurogrid.html> (дата обращения: 16.04.2016)
70. D-Wave 2X System. URL: <http://www.dwavesys.com/d-wave-two-system> (дата обращения: 29.04.2016)
71. DNA Sequencing Costs. Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP). URL: <https://www.genome.gov/sequencingcosts/> (дата обращения: 17.05.2016)
72. Douglas Weber. Reliable Neural-Interface Technology (RE-NET). URL: <http://www.darpa.mil/program/re-net-reliable-peripheral-interfaces> (дата обращения: 01.04.2016)
73. Human Brain Project. URL: <https://www.humanbrainproject.eu/> (дата обращения: 16.04.2016)
74. IBM Watson Health. URL: <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/ibmwatson/health/> (дата обращения: 06.04.2016)
75. Mars One. Roadmap. URL: <http://www.mars-one.com/mission/roadmap> (дата обращения: 12.04.2016)
76. Mobile Medical Applications. U.S. Food and Drug Administration. URL: <http://www.fda.gov/MedicalDevices/DigitalHealth/MobileMedicalApplications/default.htm#a> (дата обращения: 05.04.2016)
77. NEOCam. Finding Asteroids Before They Find Us. URL: <http://neocam.ipac.caltech.edu/> (дата обращения: 13.04.2016)
78. Neurovalens. Innovative medical devices. URL: <http://www.neurovalens.com/> (дата обращения: 02.04.2016)
79. OmniPod. URL: <https://www.myomnipod.com/explore.php> (дата обращения: 01.04.2016)
80. Personalized DNA sequencing as a part of routine healthcare check-up: Opportunities and challenges. hbs Medical, 2016. URL: <http://hbs-consulting.com/publications/personalized-dna-sequencing-as-a-part-of-routine-healthcare-check-up-opportunities-and-challenges> (дата обращения: 15.04.2016)

81. PillCam Capsule Endoscopy. URL: <http://www.givenimaging.com/en-int/innovative-solutions/capsule-endoscopy/Pages/default.aspx> (дата обращения: 01.04.2016)
82. Second Sight. URL: <http://www.secondsight.com/> (дата обращения: 01.04.2016)
83. The Board: Neurogrid. Brains in Silicon. URL: <https://web.stanford.edu/group/brainsinsilicon/neurogrid.html> (дата обращения: 17.03.2016)
84. The Dawn of the Singularity. URL: <http://futurism.com/images/the-dawn-of-the-singularity/> (дата обращения: 04.04.2016)
85. The Future of Medicine by Stephen C. Schimpff, FACP. URL: <http://www.medicalmegatrends.com/imaging.html> (дата обращения: 31.03.2016)
86. VOS Viewer. Visualising scientific landscapes. URL: <http://www.vosviewer.com/>
87. Web of Science. URL: <https://webofknowledge.com/>

Приложение

Реферат книги Ф. Тетлока и Д. Гарднера «Суперпрогнозирование. Искусство науки и предсказания»

Книга отвечает на вопрос, почему некоторые специалисты имеют уникальную способность предсказания: по мнению авторов, способность делать хорошие прогнозы можно развить. На основании проведенного исследования Ф. Тетлок и Д. Гарднер предлагают эффективный метод для развития способности предсказывать

будущее, вне зависимости от области применения: бизнес, финансы, политика, международные отношения или повседневная жизнь.

Книга признана бестселлером New York Times.

Одна из лучших книг 2015 г., согласно The Economist, Amazon, Hudson Books.

Ф. Тетлок, Д. Гарднер «Суперпрогнозирование. Искусство науки и предсказания» (Philip E. Tetlock, Dan Gardner “Superforecasting. The Art of Science and Prediction“)

Оптимистичный скептик

Все мы в повседневной жизни делаем прогнозы. Думая о смене работы, покупке дома, свадьбе, вложении денег и уходе на пенсию, мы принимаем решения в соответствии с тем, каким нам представляется будущее. Однако если речь заходит о действительно глобальных вещах, нам требуется мнение эксперта. И тогда мы ориентируемся на таких людей, как Том Фридман.

А если какой-нибудь неизвестный Билл Флэк так же, как и Том Фридман, занимается прогнозированием, его мнение мало кого интересует.

В течение многих лет Билл работал в Сельскохозяйственном департаменте Аризоны, сейчас живет в Карни, штат Небраска. Закончив Университет Небраски, он поступил в Университет Аризоны, где должен был получить ученую степень по математике, но в итоге отказался от этой затеи и начал заниматься орнитологией. Так он оказался в Сельскохозяйственном департаменте.

Биллу пятьдесят пять, он на пенсии и немного занимается прогнозированием. Он с легкостью ответил на такие вопросы, как «Аннексирует ли Россия в ближайшие три месяца еще какую-либо часть украинской территории?», «Выйдет ли какая-нибудь из стран из еврозоны?», а на вопрос «Будет ли проведен референдум о независимости Курдским региональным правительством?» заявил, что ему нужно подумать. Он собрал факты, построил аргументацию и дал свой ответ.

Никто не принимает решений, учитывая мнение Билла, не зовет его выступить на CNN, не приглашает в Давос, хотя он прекрасно справляется с прогнозированием. Сам он об этом знает, поскольку в ходе проводимого исследования все прогнозы аккуратно датировались и записывались. И, более того, он не один. Большая часть испытуемых не достигла таких же результатов, но 2% справились с предсказанием успешно. Мы назвали их суперпрогнозистами. Объяснить, как они это делают и как добиться такого же результата другим, – цель данной книги. По сути, способность к прогнозированию нельзя причислить к категории талантов, которые либо есть, либо нет. Это навык, который можно развить. Книга покажет, как.

Немного о шимпанзе

Нужно сделать небольшое замечание. Среднестатистический эксперт точен приблизительно так же, как и шимпанзе, играющая в дартс.

Это выглядит следующим образом. Когда собирается группа экспертов, делается множество предсказаний. Когда же приходит время выяснять, насколько точными они были, оказывается, что среднестатистический эксперт делал случайное предположение. Однако предсказывать будущее в некоторой степени может каждый мыслящий человек, готовый усердно работать над этим и развивать необходимые навыки.

Скептик

Чтобы понять скептическую составляющую, обратимся к тем научным достижениям, которые были связаны с именем Эдварда Лоренца. В 1972 г. американский метеоролог написал работу «Возможности прогнозирования: может ли взмах крыла бабочки стать причиной торнадо в Техасе?». Десятилетием позже он сформулировал свою знаменитую «теорию хаоса». В нелинейных системах, таких, как, например, атмосфера, незначительное изменение в определенных условиях может привести к серьезным сдвигам. Безусловно, Лоренц не имел в виду, что бабочка является такой же причиной торнадо, как кто-то другой – разбитого бокала, после воздействия на него ударом молотка. Он говорил о том, что если та самая бабочка взмахнет крыльями в определенную секунду, это может привести к тому, что вся система атмосферных явлений и реакций будет функционировать иначе, и торнадо возникнет там, где его никогда не было. То есть так же, как никогда не случилась бы Арабская весна – во всяком случае, в том виде, в каком она известна всем сейчас, – если бы полиция позволила бы Мохаммеду Буазизи спокойно продавать фрукты и овощи утром 2010 г.

Эдвард Лоренц изменил общенаучное мнение о возможностях прогнозирования. Ученые испокон веков считали, что прогнозирование подобно часовому механизму: по мере накопления знаний о реальности можно будет составить представление о том, как все эти механизмы работают, чтобы делать точные прогнозы. Лоренц эту мечту разрушил.

Общеизвестен простой факт: облака образуются из пара и пылевых частиц. Однако каким будет облако, зависит от того, как эти частицы будут взаимодействовать между собой. Чтобы понять это взаимодействие и составить нужную модель, необходимо собрать точные данные, минимальная ошибка в которых может привести к «эффекту бабочки». Получается, что даже если мы будем знать все о том, как образуется облако, мы не сможем предсказывать форму каждого конкретного облака. В этом заключается вся ирония. Сегодня ученые знают гораздо больше, чем их предшественники, но они гораздо меньше уверены в совершенстве собственных прогнозов.

Оптимист

Безусловно, стоит признать, что возможности для прогнозирования ограничены. Тем не менее, даже если мыслить категориями

Лоренца, стоит отметить, что прогноз погоды на несколько дней может быть точным. Менее точным он становится на 4–5 дней. Когда мы говорим о недельном прогнозе, мы становимся подобны шимпанзе, играющей в дартс. Фактически мы не можем определенно сказать, можно ли предсказать погоду или нельзя. Прогнозирование возможно в определенных условиях, до определенной степени и с большей или меньшей точностью.

И получается, чем более отдаленное будущее мы хотим увидеть, тем менее точным будет прогноз.

Мы знаем, что люди в некоторой степени предсказывают экономические, политические, социальные события, происходящие в нашей жизни. Прогнозирование имеет место в определенных условиях. И возможности прогнозирования до определенной степени велики. Все, что нам нужно, – максимальная точность исходных данных.

Тетлок в течение длительного времени исследовал прогнозирование. Первая фаза выявила наличие упоминаемого ранее «эффекта шимпанзе». Вторая фаза началась в 2011 г., когда Тетлок с коллегами приступили к работе над Good Judgment Project, и посвящена изучению способностей к прогнозированию приглашенных добровольцев, которые заинтересовались предсказанием. Good Judgment Project (GJP) стал частью более масштабного исследования, проводимого Агентством передовых исследований в сфере разведки (IARPA). IARPA финансирует такого рода исследования с целью улучшить качество работы разведслужб США. Большая часть того, чем занимаются американские разведслужбы, сводится к прогнозированию политических и экономических трендов.

Обо всех подробностях этого исследования будет рассказано далее. В целом, команда пришла к выводу о том, что заглянуть в будущее представляется вполне реальным. Кто-то делает это лучше, кто-то хуже. Однако эту способность можно развивать путем постоянной работы над собой, пополняя свои знания.

Цель исследования – получить максимально точное представление о том, существуют ли стандартные модели по улучшению качества прогнозирования. Большая часть ответов на этот вопрос лежит в плоскости психологии, чему посвящена вторая глава этой книги.

точность совершаемых прогнозов.

IARPA создала беспрецедентные условия для возникновения соревновательного духа в прогнозировании. Об этом будет рассказано в четвертой части, а также о том, как обнаружили суперпрогнозистов.

Вопрос, каким образом им удалось так в этом преуспеть, будет рассматриваться в пятой и девятой главах.

В последних главах представлена попытка разрешить вопрос о том, каково соотношение правильных суждений и эффективного лидерства.

Прогноз о прогнозировании

Возможно, кто-то подумает, что в современном мире мы лишены доступа к полным данным. Сейчас мы живем в век суперкомпьютеров, малопонятных алгоритмов и метаданных. Действительно ли прогнозирование сводится лишь к пониманию того, как люди думают и принимают решение?

В 1954 г. психолог Пол Мил, в ходе проводимого исследования, выявил, что хорошо осведомленные эксперты в своих прогнозах были не столь точны, как применение достаточно простого алгоритма. В большинстве случаев алгоритмы, разработанные на основании статистических данных, были гораздо точнее, нежели умозаключения, базирующиеся на субъективных оценках. Суперкомпьютер IBM «Уотсон» (IBM Watson) в 2011 г. сумел победить чемпионов телеигры Jeopardy! (прототип «Своей игры». – *Прим. ред.*). Это была крайне сложная задача, но «Уотсон» с ней справился. Разработчик «Уотсона» Дэвид Ферруччи, с которым мне удалось побеседовать, заявил, что его «Уотсон» с легкостью ответил бы, «какие российские лидеры поменялись должностями в последние десять лет». Но самому Ферруччи было бы интересно, сколько времени уйдет у «Уотсона», чтобы ответить на вопрос «Произойдет ли обмен должностями между двумя российскими лидерами в ближайшие десять лет?».

Действительно, между этими двумя вопросами существует огромная разница. Первый направлен в прошлое. Второй связан с прогнозированием. Компьютер должен сделать предположение относительно намерений Владимира Путина, характера Дмитрия Медведева и общей динамики российской политики. Особенностью человеческого мозга является то, что в нем постоянно генерируются подобные субъективные умозаключения.

Компьютер же в своей работе может лишь подражать человеческому мышлению. Поэтому Дэвид Ферруччи считает, что необходимо сочетать те возможности, которыми обладает компьютер, с человеческими. Это поможет качественно улучшить прогноз, который делается исключительно компьютером или исключительно человеком.

Если Дэвид Ферруччи прав, а, скорее всего, это действительно так, то в будущем нам потребуется сочетание компьютерного прогнозирования и субъективных умозаключений.

Иллюзия знания

Мы часто бываем поспешны в формировании какой-либо мысли и слишком неохотно отказываемся от нее. Если мы не поймем, как совершаем подобные ошибки, то будем продолжать их делать.

Слепой человек спорит

Дж. Вашингтон умер, но сам по себе этот факт ничего не говорит о состоятельности лечения, которое не смогло предотвратить его смерть. Возможно, лечение помогло, но не в должной степени, или не помогло совсем, или же, наоборот, ускорило смерть. Нельзя сделать верного заключения, основываясь лишь на знании об исходе, – слишком много факторов, слишком много возможных объяснений, слишком много неизвестных.

В целом, изучение исхода лечения довольно затруднительно, поскольку двух одинаковых людей с одинаковыми особенностями не существует, и чистота эксперимента практически недостижима, так что на выходе получатся разные результаты.

Отсутствие сомнений и научная строгость долгое время делали медицину ненаучной и способствовали ее стагнации.

Вполне естественно идентифицировать наше мышление с идеями, образами, мыслями, планами и чувствами, проходящими через поток сознания.

решения, современные психологи используют сдвоенную систему. Система 2 соотносится с сознательным мышлением. Она состоит из всего того, что мы выбираем и на чем должны сконцентрировать свое внимание. Система 1 менее привычна для нас. Она касается сферы автоматического восприятия и когнитивных операций. Сначала начинается действие системы 1, которая дает определенный ответ, а затем в ход идет система 2, начинающая работу с проверки принятого в рамках системы 1

решения. Т. е. давая быстрый ответ на вопрос, мы применяем систему 1, а когда задаемся вопросом о правильности полученного ответа, то речь уже идет о системе 2. При этом система 1 зиждется на простом принципе психологии: если ответ кажется правильным, то он принимается граничиваемся системой 1, поскольку человек стремится все понять и детально разъяснить.

Взаимодействие между двумя системами бывает весьма искусным и разнообразным. Но ученых в этом смысле учат осторожности. Какой бы прочной ни казалась гипотеза и как бы она ни походила на истину, необходимо брать в расчет альтернативные объяснения. Главным ключом в данном случае является сомнение. Конечно, такой способ моделирования отнюдь не является совершенным при описании мыслительных моделей, однако он позволяет их максимально упорядочить.

Искушение переключиться

Формально в осуществляемом нами мыслительном процессе существуют риски совершить подмену одного другим. Это можно назвать искушением переключиться. Такое случается, когда мы сталкиваемся с трудным вопросом: мы часто стремимся заместить его более простым. Человек склонен к поспешным суждениям. Все понимают, что прежде чем прийти к какому-либо выводу, необходимо обдумать все детали. Однако нередко мы сразу следуем системе 2, пропуская первый этап, и даем неверный ответ. От этого никто из нас не застрахован.

Это может происходить автоматически: мы обращаемся к методу, который не требует от нас каких-либо усилий. Мы можем ошибочно переключиться на неверную аналогию, когда этого делать нельзя. Нравится нам или нет, но именно система 1 позволяет нам оставаться в потоке сознания.

Лучшая метафора, которая может описать видение мира, – кончик нашего носа. Именно с этого ракурса мы видим мир и перспективы его развития. По сути, это видение субъективно и уникально для каждого из нас.

Часто в книгах, посвященных соотношению интуиции и анализа, противопоставляют моментальное принятие решения длительному процессу размышлений, где одно доминирует над другим. Но такая постановка проблемы не совсем верна, поскольку главный вопрос сводится к тому, как правильно сочетать эти два процесса в определенной ситуации.

В интуиции как таковой нет никакой загадки. Интуиция представляет собой неосознанное следование какой-либо модели, основанной на жизненном опыте. Также нужно обратить внимание, что если при принятии важного решения есть время его обдумать, эту возможность необходимо использовать. И при этом помнить следующее: то, что было очевидным и правильным в данный момент, может стать ложным и неверным в будущем. Современное прогнозирование в XXI в. напоминает медицину XIX в. Существуют теории, утверждения и аргументы, но отсутствует достаточное количество экспериментов, которые позволили бы говорить о настоящей науке, из-за этого мы знаем гораздо меньше, чем понимает большинство людей. Хотя плохое прогнозирование в меньшей степени напрямую ведет к негативным последствиям, чем плохая медицина, оно заканчивается неверно принятыми решениями, приводящих к потере денег, упущенным возможностям, ненужным жертвам, и даже к войнам и смертям.

Спортивный интерес

Стив Балмер, исполнительный директор компании Microsoft, в 2007 г. предсказал, что у iPhone нет шансов получить существенную долю рынка. В 2013 г. iPhone занимал 43% на рынке смартфонов США, 13,1% мирового ранка – в это время в 2013 г. было объявлено об отставке Балмера.

Однако давайте разберем прогноз Балмера более детально. Что он имел в виду под словом «существенную» и о каком рынке говорил? Северной Америки или мировом? Смартфонов или мобильных телефонов? Отсутствие ответов на эти вопросы – главная проблема. На самом деле мы не можем дать оценку этому прогнозу, поскольку не имеем достаточного представления, о чем же он был, хотя и кажется абсолютно неверным. В контексте того интервью, которое Балмер дал USA Today, и в тех условиях рынка его прогноз выглядел достаточно уверенно и походил на насмешку над Apple. Однако его слова содержат гораздо больше нюансов, чтобы можно было с легкостью назвать этот прогноз сомнительным. Правда в том, что правда иллюзорна. Судить о правильности прогноза весьма затруднительно.

Конец света неизбежен

В начале 1980-х гг. многие думающие люди полагали, что в случае, если человечество не избавится от ядерного оружия, конец света не

возможен, он неизбежен. Такую позицию отразил Джонатан Шелл в своей книге «Судьба Земли».

После смерти Л. И. Брежнева, который долго возглавлял Советский Союз, его преемник вскоре умер, после него к власти пришел К. Черненко. Многие эксперты прогнозировали, что он также вскоре умрет. В контексте ужесточения линии Р. Рейгана в отношении СССР, восприятия его как «империи зла», либеральные эксперты пророчили Советскому Союзу возрождение неосталинизма и ужесточение внешнеполитического курса в ответ. Консервативные эксперты склонялись к тому, что СССР начнет вторгаться в другие страны. Однако поезд истории пошел по другому пути. К власти в СССР пришел М. С. Горбачев – лидер нового типа, – который понял, что так жить дальше нельзя. Он начал «перестройку» и пересмотрел линию в отношении США; началось сокращение вооружения, и ядерной войны не случилось. Постфактум все эксперты стали оправдывать свои прогнозы, говоря, что открылось новое «окно возможностей», которого ранее не было. И подчас к такому оправданию склонны все, кто занимается прогнозированием.

Рассудим о суждениях

Даниэль Канеман считал, что наличие разведанных и знания улучшает качество прогнозов, но выгоды, которые можно получить в результате, могут быть крайне невелики. Фактически прогнозы экспертов, обладающих ученой степенью и десятилетиями опыта, не многим более точны, чем предположения простых людей, внимательно читающих *New York Times*.

Взять хотя бы проблему временных рамок. Прогноз, где они не установлены, не подлежит оцениванию. Более четко можно дать оценку таких прогнозов, где предсказывается, произойдет или не произойдет конкретное событие.

Ключевое слово, которое использовал Канеман в своей работе, – «оценка». Он подчеркивает, что оценивание происходит тогда, когда мы не знаем, что именно произойдет дальше. Когда мы прогнозируем, мы производим оценку по принципу аналогии. Ищем сходное событие, которое происходило ранее.

Шерман Кент, со своей стороны, ввел терминологию оценки вероятности прогноза:

100% – точный;

93% (на 6% с поправкой в ту или иную сторону) – почти верный;

75% (на 12% с поправкой в ту или иную сторону) – вероятный;

50% (на 10% с поправкой в ту или иную сторону) – есть некоторый шанс;

30% (на 10% с поправкой в ту или иную сторону) – вероятно, нет;

7% (на 5% с поправкой в ту или иную сторону) – почти точно нет;

0% – невозможный.

То есть в соответствии с данной системой, если национальная разведка говорит, что что-нибудь, «вероятно», произойдет, то в процентном отношении эта вероятность составляет от 63 до 87%.

Однако для того, чтобы у прогноза был более широкий диапазон, необходимо использовать менее категоричные слова. Например, формулировка «существует явная возможность» укладывается в диапазон вероятности свыше 50%.

В 1950 г. ученый Гленн Брайер разработал собственную систему оценки прогнозов. Эта шкала помогает обнаружить разницу между прогнозом и тем, что произошло. Шкала Брайера напоминает очки игры в гольф, чем меньше, тем лучше: 0 – совершенный прогноз; 0,5 – прогноз с вероятностью 50% или случайная догадка; 2,0 – самый далекий от истины прогноз, когда то, что прогнозировалось, полностью расходится с произошедшим в реальности.

Таким образом, создавая прогноз, нужно четко определить себе терминологически, о чем идет речь, и устанавливать четкие временные рамки.

Степень точности прогноза также может быть определена при помощи шкалы Брайера. Для этого нам необходимо выделить критерии и возможность для сравнения.

Политический прогноз

В 1980-е гг., когда Ф. Тетлок начал проводить свой эксперимент, ему удалось рекрутировать 284 эксперта – практиков и представителей академического сообщества. Некоторые из них были широко известны, а некоторые – только в рамках своего профессионального сообщества.

Первые вопросы, которые им задавались, были следующими. Какой Ваш возраст? (Средний возраст составил 43 года). Каков Ваш опыт работы? (В среднем он составил 12,2 г.). Образование у всех было приблизительно уровня магистратуры, половина экспертов имели ученые степени. Также задавался вопрос о том, какие идеологические взгляды и

подходы они привыкли использовать при оценке политических событий.

Вопросы, которые связывались с прогнозами, пролегли во временных рамках. Прогнозы делались по вопросам внутренней и внешней политики и экономики. В общей сложности эксперты сделали 28 тысяч предсказаний.

В итоге среднестатистической эксперт был ничуть не точнее, чем шимпанзе, играющая в дартс.

При этом стоит подчеркнуть, что в долгосрочных прогнозах одна из групп проиграла даже обезьяне, в то время как другая выступила относительно неплохо. Чтобы понять, почему одна группа оказалась успешнее другой, в качестве основного критерия нужно взять тот, который позволял понять, каким образом они думают.

Представители первой группы должны были мыслить глобально, общими категориями.

При этом их идеологические взгляды были самыми различными. Они давали более однозначный прогноз и были увереннее, и даже когда выяснялось, что их прогноз полностью несостоятелен, они заявляли: «Нет, подождите!» Другая группа экспертов рассуждала конкретно, используя вполне определенные аналитические методы. Они, как правило, говорили о вероятности и возможности. Если же выяснялось, что с их прогнозом что-то не так, они быстро признавали ошибку и меняли свое мнение.

Несколько десятилетий назад Исайя Берлин разделил всех людей по образу мышления на «лисы» и «ежей». В основе этой идеи лежала греческая поэма о том, что лисы знают многие вещи, в то время как еж знает лишь одну, но досконально. В отношении прогнозов «лисы» всегда побеждают «ежей».

Нужно констатировать, что как бы мы ни старались смоделировать образ человеческого мышления, все попытки остались бесплодными, поскольку они не могут отразить всего богатства человеческой природы. Даже самые лучшие из них несовершенны.

Суперпрогнозисты

«Мы считаем, что Ирак продолжил программу по разработке оружия массового уничтожения (ОМУ) в обход резолюции ООН. У Багдада есть химическое и биологическое оружие вопреки всем установленным ООН ограничениям. Если не провести по этому делу проверку, то, возможно, Ирак произведет ядерное оружие уже в этом десятилетии».

Так это сообщение представили широкой общественности в октябре 2002 г. Террористы совершили атаку 11 сентября, США вторглись в Афганистан, где укрывались талибы и Усама бен Ладен. Затем администрация Буша обратила внимание на Ирак Саддама Хусейна, который имел связи с Аль-Каидой. Обстановка накалялась тем, что Ирак не уничтожил ОМУ по предписанию ООН и с каждым днем ситуация становилась все более и более опасной.

Мы знаем, что Оценки Национальной разведки США представляют собой консенсус, достигнутый между ЦРУ, Агентством национальной безопасности, Разведывательным управлением Министерства обороны и 13 другими разведывательными структурами, которые все вместе представляют разведывательное сообщество. Их бюджет составляет более 50 млрд долл., а штат исчисляется сотнями тысяч сотрудников.

Тем не менее, сейчас мы знаем, что все представленные ими факты относительно Саддама Хусейна и ОМУ в Ираке были ложными. Многие считают, что причиной тому послужила высокая политизированность разведывательных агентств. Однако это не единственное объяснение данной ошибки. Большая часть заключений, сделанных экспертами, представлялась вполне разумной. При этом акцентируем внимание на вопросе. Во главу угла ставится не то, насколько заключения были правильными, а насколько они были разумными. И с их разумностью довольно сложно спорить. Саддама Хусейна было вполне логично заподозрить в чем-либо противозаконном, поскольку он действительно вел себя как человек, который что-то скрывал. В итоге произошло то, что мы назвали «искушением подмены». В данном случае вопрос «Каким же будет правильное и эффективное решение?» заменили вопросом «Каков же будет правильный исход?».

А теперь представим ситуацию, когда наш прогноз более точен и эффективен, чем те, которые составляются специальными службами, теми людьми, которые десятилетиями профессионально занимаются прогнозированием.

В Оценках Национальной разведки США (2002-16НС) прогноз был составлен без всякой тени сомнения: «У Ирака есть...», «У Багдада есть...», – использовались термины, отнюдь не выражающие сомнения. Это выглядело достаточно необычно, поскольку даже в случае высокой вероятности события используются

слова, передающие оттенки неуверенности. Предполагать наличие ядерного оружия у Ирака было весьма самоуверенно. Однако самое удивительное, что в ходе анализа причин произошедшего даже не возникло идеи о том, что это положение может быть неверным.

В 2006 г. было создано Агентство передовых исследований в сфере разведки (IARPA). Его целью было качественно улучшить экспертное сообщество. Однако до сих пор отсутствуют оценки эффективности этих аналитиков, поскольку точность их прогнозирования никем ерзьезно не измерялась. В IARPA не использовали инсайдерскую информацию, по сути дела, оно не было связано с разведкой. Агентство должно было улучшить исследования, связанные с высокими рисками и обладающие высокой степенью важности.

IARPA разработало довольно интересный метод: когда происходит подсчет коллективных действий большой группы людей, это называется «мудростью толпы». По сути это означает сбор всей релевантной информации из рассредоточенных источников. Выходит, что сотня обычных людей побеждает IARPA.

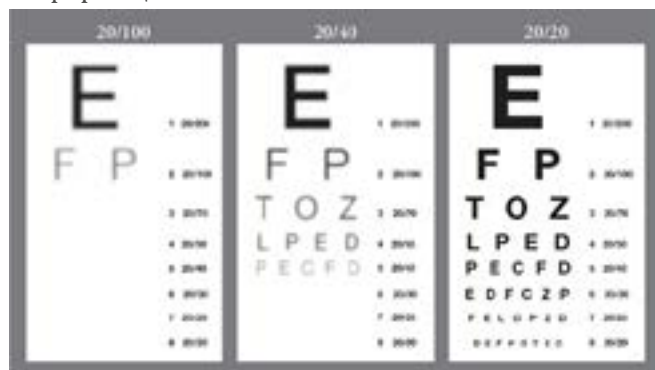
В проводимом исследовании Тетлок просил экспертов дать прогноз в виде одного ответа на вопрос, чтобы увидеть результаты позже и чтобы можно было произвести расчеты по шкале Брайера.

За один год Дуг Лорч, бывший программист, сделал около тысячи прогнозов. При этом его точность в прогнозах оказалась столь же впечатляющей, как и скорость. После первого года точность составляла 0,22 по шкале Брайера, а после того как он присоединился к суперпрогнозистам, работавшим в рамках Good Judgment Project (GJP), на второй год этот показатель улучшился до 0,14, что сделало Дуга лучшим среди всех добровольцев GJP. При этом стоит отметить, что Дуг не имел специального образования, доступа к секретным данным, мотивации в виде большого денежного вознаграждения и т. д. Это задание он выполнял в свое свободное время.

Среди 2800 волонтеров 58 продемонстрировали выдающиеся результаты. После первого года их средний результат составлял 0,25 по шкале Брайера в сравнении с 0,37 по сравнению с другими участниками эксперимента. И с каждым годом этот разрыв увеличивался. При этом качество «зрения» существенно улучшилось. Исходя из шкалы

Брайера, если перейти в плоскость оптических измерений, а за средний прогноз принять 20/100, то с течением времени качество прогнозов улучшилось до 20/40. Конечно, многие заметят, что это достаточно далеко от идеального видения будущего, тем не менее, такой сдвиг означает существенное качественное улучшение.

При этом стоит подчеркнуть, что прогнозирование мировых событий происходило в свободное для волонтеров время без возможности поиска уникальной информации.



Как долго может происходить сопротивление гравитации?

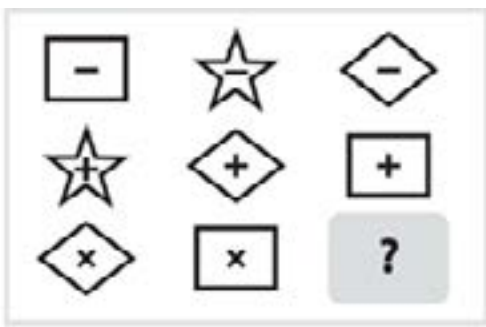
Главный вопрос заключается в том, как суперпрогнозистам удалось сохранить качество производимых ими прогнозов, есть ли в этом некий элемент удачи. Однако рост качества прогнозов не позволяет утверждать, что все сводится лишь к удаче. Полученные результаты скорее определяют эффективность прогнозирования как некий навык.

Возникает главный вопрос: почему же суперпрогнозисты столь продуктивны?

Супер-ум

Действительно ли суперпрогнозисты столь сильны в предсказаниях, поскольку обладают большим багажом знаний, чем все остальные? Идея о том, что знания и интеллект – важные компоненты хорошего прогнозирования, кажется правдоподобной, но не до конца. Положим эту гипотезу в основание простого теста.

Чтобы уловить, каким образом работает интеллект, добровольцам предложили выполнить задание, где нужно заполнить пустое пространство, подобное следующему (правильный ответ: вторая фигура слева во втором ряду).



В ходе эксперимента организаторы не ограничились в своих заданиях только схемами, они также задавали вопросы о реальном мире, связанные непосредственно с США: «Сколько судей в Верховном суде?», «Сколько постоянных членов в Совете Безопасности ООН?».

Прежде чем перейти к результатам теста, нужно отметить, что выборка 2800 добровольцев не является репрезентативной – они не представляют всего населения в целом. Они знали суть эксперимента, постоянно работали над собой и совершенствовали навыки прогнозирования.

В результате было обнаружено, что те, кто занимался регулярным прогнозированием, продемонстрировали более высокие результаты по тестам, чем 70% населения. Суперпрогнозисты выступили еще лучше. Их результаты были выше, чем у 80% населения.

Нужно отметить три вещи:

- большой разрыв был между обычными людьми и участниками эксперимента, а не между самими прогнозистами и суперпрогнозистами;
- интеллект и знания важны при прогнозировании, однако для этого не нужно иметь ученую степень или говорить на пяти языках;
- просто знаний и интеллекта для подготовки хорошего прогноза недостаточно. Большинство умных и образованных людей в своих прогнозах по точности далеки от суперпрогнозистов. Например, прославленный и блистательный Роберт Макнамара, министр обороны США при президентах Кеннеди и Джонсоне, со своей командой не совсем верно спрогнозировал развитие событий, когда выступил в поддержку вступления США в

войну во Вьетнаме, что способствовало ее дальнейшей эскалации.

Вопросы Ферми

Вопросы Ферми – система, разработанная физиком-ядерщиком Ферми, позволяющая составить оценку. Если использовать подход Ферми, то вместо того, чтобы отвечать на вопрос «При каких условиях нечто произойдет?», нужно ответить на следующий: «Какая информация позволит ответить на этот вопрос?».

Данный процесс выглядит следующим образом. Необходимо ответить, сколько настройщиков пианино живет в Чикаго. Сразу стоит оговориться, что система разрабатывалась до Интернета и всеобщего доступа к нему. Для ответа на данный вопрос нужно знать следующие факты:

1. количество пианино в Чикаго;
2. как часто пианино настраивают;
3. сколько времени занимает настройка пианино;
4. сколько часов в год работает средний настройщик пианино.

И далее для каждого из фактов можно составить свою цепочку. Так, например, чтобы узнать, какое количество пианино есть в Чикаго, нужно знать: сколько людей живет в Чикаго, какой процент людей имеет пианино у себя дома, какое количество пианино есть в барах, концертных залах и т. д. То же по списку со всеми вопросами, которые позволят составить приблизительную оценку. Этот метод работы был достаточно полезным для прогнозистов. Система позволяет избежать подмены вопросов одного на другой и сразу составить некую «дорожную карту» для ответа на него.

Не всегда для ответа на поставленный вопрос нужно начинать «копать» непосредственно вокруг него. Для составления эффективного прогноза иногда стоит начать с внешней стороны. Например, если поставить вопрос о наличии домашнего животного у семьи Резетти, где трое взрослых и один ребенок, прогнозисты сразу начнут со статистики, какое количество семей в данном городе держит домашних животных. Они не будут рассуждать о том, что многие заводят животных для детей и т. д. В результате, выяснив, что 62% семей в США имеют домашних животных, они скажут, что с вероятностью 62% у семьи Резетти есть домашнее животное.

Когда производятся какие-либо оценки, необходимо начинать с конкретных цифр и их корректировки. Конкретное число выполняет функцию «якоря». Погружаясь вглубь проблемы, прогнозист рискует выбрать в качестве «якоря» малозначащие цифры, в то время как подход извне помогает обозначить более важные величины.

Подход к проблеме изнутри также возможен с применением системы Ферми. Чтобы ответить на вопрос, сначала стоит выдвинуть гипотезу. Например, Израиль причастен к отравлению Ясира Арафата полонием. Почему это может быть правдой?

1. У Израиля был полоний или он мог получить к нему доступ;
2. Израилю было необходимо, чтобы Арафат умер, риск для него вполне оправдывался;
3. У Израиля была возможность отравить Арафата полонием.

Каждый из представленных аргументов должен быть взвешен и тщательно проверен. У этой системы есть свои неоспоримые недостатки, однако такой способ работы представляется более эффективным, чем бесцельное блуждание в нескончаемых потоках информации.

Когда уже применен внешний и внутренний подходы при формировании прогноза, нужно помнить о логике построения аргументации, которая должна строиться на основании трилогии тезис – антитезис – синтез.

Вся система прогнозирования строится на основании взвешивания аргументов и контраргументов. Для суперпрогнозистов первоочередной является проверка гипотезы, а отнюдь не следование какой-либо системе ценностей.

Суперданные

Мы живем в период господства метаданных. Сегодня существуют огромные объемы информации, сетевые отношения, которые нуждаются в обработке и анализе.

Суперпрогнозистов отличает то, что они довольно хорошо работают с количественными данными. Однако это не связано с тем, что они обладают уникальной возможностью использовать математические модели для прогнозирования. Все гораздо проще.

Большинство людей ассоциирует науку с точностью, которую обещают теории, но научное знание является умозрительным. В науке всегда остается пространство для

сомнения.

Суперпрогнозисты, приходя к выводу, что некое событие случится с вероятностью 80%, понимают: есть 20% вероятности, что этого не случится. Как математики и ученые они обладают вероятностным мышлением. Хотя в процессе прогнозирования пространство для сомнений, в том числе в познании, остается. Все сомнения можно условно разделить на эпистемологические (связанные тем, что неизвестно, но теоретически познаваемо) и случайные (находящиеся в плоскости непознаваемого). К категории случайного стоит отнести неожиданные события и то, что называют судьбой. В ходе исследования прогнозистов спрашивали, насколько они верят в судьбу. Оказалось, те, кто обнаружил склонность мыслить в духе «так было предначертано», проигрывали в качестве прогнозирования тем, у кого преобладало вероятностное мышление.

Таким образом, поиск смысла в каких-либо событиях позитивно сказывается на человеческом благосостоянии, но негативно – на качестве прогнозов.

Суперзависимость?

Как уже обозначалось, прогнозирование может быть эффективнее, если правильно разделить поставленный вопрос на составные элементы. Прогнозирование нельзя рассматривать как некий лотерейный билет. Суждение, лежащее в основе прогноза, зиждется на полученной информации, которая должна быть актуальной.

Суперпрогнозисты в ходе эксперимента внимательно следили за текущими новостями, что давало им преимущество при составлении прогнозов. Более того, это делало их прогноз максимально актуальным. В ходе работы с информацией наиболее распространенными являются два вида ошибок: переоценка информации и ее недооценка.

В целом, идеальная формула для сбора информации и прогнозирования отсутствует, главное – понимание принципов прогнозирования.

Бесконечные частицы

Джон Кейнс – один из наиболее известных экономистов, который выступал в качестве и теоретика, и инвестора. Он в ходе работы часто менял мнение; у него нередко возникали противоречия не только с его коллегами, но и с самим собой. Для него неудача была возможностью учиться на своих ошибках, найти альтернативу и попробовать еще раз.

Кейнс отмечал, что прохождение через процесс «попытаться – ошибиться – проанализировать – учесть ошибки – попытаться снова» свойственно любому человеку с момента рождения. Взрослые проходят все те же этапы. Таким образом происходит развитие навыков.

В этой связи можно сказать, что обучение прогнозированию обязательно должно сопровождаться непрерывной практикой. Теория хороша, но книга о прогнозировании никогда не сможет заменить практических навыков.

Но не любая практика способствует развитию необходимых умений. Для эффективной работы нужно точно выявлять ошибки и определять, какая практика наиболее применима. Также необходима прозрачная и своевременная «обратная реакция» (информация, насколько прогноз точен). Еще важно учиться на своих ошибках, нужно точно знать, когда эта ошибка произошла. К сожалению, для большинства прогнозов невозможно получить «обратную реакцию», как, например, в метеорологии. На это существуют причины. Прежде всего – язык, с применением которого дается прогноз: как правило, он полон сомнений. Вторая проблема связана с временным разрывом. Иногда удается достаточно быстро проверить прогноз, но бывают ситуации, когда сделать это со всей точностью с течением времени, наложением новых событий не представляется возможным. Более того, однажды полученный, результат изменяет наше восприятие предмета, о котором мы составляли мнение.

Прогнозисты, которые используют максимально обтекаемые формулировки и полагаются исключительно на собственную память при создании прогнозов, не получают «обратной реакции», что лишает их возможности учиться на собственном опыте.

В ходе проведенного эксперимента прогнозистов можно охарактеризовать в философском смысле как:

- **осторожных:** ничто не точно;
- **непритязательных:** реальность бесконечно сложна;
- **недетерминированных:** то, что происходит, не обязательно должно было произойти.

С точки зрения их способностей и образа мышления они:

- **открыты** (любая гипотеза должна подвергаться проверке);
- **обладают необходимым уровнем**

интеллекта и знаний;

- **мыслящие** (склонны к самокритике);
- **хорошо работают с цифрами.**

В методах прогнозирования они:

- **прагматики;**
- **склонны к аналитической работе;**
- **их видение мира подобно стрекозе:** для них ценны различные взгляды, которые синтезируются в один;
- **обладают вероятностным мышлением;**
- **когда меняется ситуация, изменяют собственный образ мыслей;**
- **владеют интуитивной психологией.**

В подходе к работе их отличает:

- **мышление, ориентированное на рост:** возможность самосовершенствоваться;
- **твердость.**

В то же время возникает вопрос, как они работают в коллективе.

Суперкоманда

Целью проводимого IARPA исследования было выявить точность прогнозирования. Помогает ли в этом «командная игра»?

В рамках группы проще делиться информацией. Формат группового обсуждения позволяет всесторонне взглянуть на проблему, что положительно сказывается на точности прогноза. Возникает вопрос: помогает ли групповая работа суперпрогнозидам или нет? Для ответа необходимо было изменить направление эксперимента, поскольку в реальности наиболее важные решения и процесс прогнозирования осуществляются не одним человеком, а серьезной командой.

После года эксперимента результаты были однозначными.

Коллективная работа суперпрогнозистов оказалась на 23% более эффективной, чем индивидуальная. Суперпрогнозистов разделили на две группы.

Эксперимент показал, что в командах возникли свои лидеры и нормы. Наиболее эффективна такая работа для сбора и обработки больших объемов информации, что не под силу одному человеку.

Результаты показали, что в среднем, если человек за год из прогнозиста превращался в суперпрогнозиста, а через два года его прикрепляли к команде, то прогноз становился на 50% эффективнее.

Дилемма лидера

Решение о прогнозировании и оценка качества прогноза производятся непосредственно лидером. При этом лидер должен действовать в соответствии с поставленной целью. И в этой связи возникает вопрос, насколько ценны уроки суперпрогнозирования для лидера, который ведет за собой. К счастью, дилемма суперпрогнозиста и суперлидера довольно искусственна, поскольку эти два компонента неплохо сочетаются друг с другом и взаимно дополняются.

Часто в работе лидера цель занимает доминирующие позиции, а средства, которыми она достигается, вторичны.

При формировании прогноза может возникнуть конфликт ценностей. Это свойственно даже суперпрогнозидам, обладающим высокой степенью самокритики. Например, Дуг Лорч, занимавшийся прогнозированием хода гражданской войны в Сирии, допустил ошибку, когда сказал, что повстанцы не возьмут Алеппо. Причиной этой ошибки стали его симпатии к Башару Асаду, которые незаметно повлияли на данный прогноз.

Действительно ли они столь гениальны?

То, насколько продолжительное время будет сохраняться способность к эффективному прогнозированию, зависит от степени когнитивной нагрузки. Суперпрогнозирование – сложная работа, требующая постоянного совершенствования. Те, кто будет заниматься этим, поймут, насколько хрупкими окажутся достигнутые успехи. Вопреки всем возможным неудачам нужно суметь сделать выводы из ошибок и продолжить прогнозирование.

Есть еще один важный момент, сформулированный Нассимом Талебом. Это появление «черного лебедя» – события, которое невозможно было предсказать до тех пор, пока оно не произошло.

Тем не менее, история состоит не только из случайных и непредсказуемых событий. Есть довольно четкие показатели (например, экономические или демографические), на основании которых создаются варианты прогнозов. В истории случаются скачки, но это далеко не единственный вид движений, сопровождающих ее течение.

Что дальше?

В ходе проведенного эксперимента IARPA определило, каким образом можно улучшить качество прогнозирования, как прогнозируют

могут улучшить свои навыки и получить «ответную реакцию».

Ранее, когда говорилось о целях прогнозирования, в качестве основной заявлялась точность, но в реальности это не всегда так. Зачастую прогнозирующая сторона стремится реализовать собственные интересы. Отмечалось также, что от качества заданного вопроса зависит четкость и правильность финального суждения. Однако в реальности иногда причиной катастрофы может стать именно постановка вопроса, о котором раньше никто не задумывался. Это заставляет лишний раз поразмыслить, а нужно ли задаваться тем или иным вопросом.

В заключение стоит сказать, что часто слышно лишь тех экспертов, чье мнение ярче всех представлено на публичных площадках и в медийном пространстве. Когда же результаты не соответствуют ожиданиям СМИ, предпринимаются попытки вновь рационализировать все полученные факты, и за это приходится расплачиваться собственной репутацией. Другие честно признаются в ошибке. Что можно сделать в этой ситуации? Просто извлечь урок из подобной ошибки.

Заключение

В качестве заключения – продолжение мысли, которая была озвучена в начале повествования. Билл Флэк является блестящим прогнозистом. Он сделал огромное количество точных прогнозов – и это подтверждено шкалой Брайера, – чего не скажешь о всемирно известном Томасе Фридмане.

Будет ли Билл Флэк столь точен в своих предсказаниях и дальше, сказать нельзя. Чрезмерная уверенность в точности собственного прогноза может сыграть злую шутку. Нужно внимательно относиться к деталям при подготовке прогноза, не быть слишком самонадеянным, не проявлять склонности к максимализму в прогнозировании. Шкала Брайера поможет дать оценку эффективности собственного прогнозирования.

При развитии у себя навыков прогнозирования важно следовать и следующей формуле: «попытаться – ошибиться – проанализировать – учесть ошибки – попытаться снова», – именно так качество прогнозирования будет улучшаться.

О Фонде «Центр стратегических разработок»

Фонд ЦСР – некоммерческая организация, основная задача которой – разработка стратегических документов, необходимых для развития России: ключевых отраслей экономики страны и субъектов федерации.

Фонд не осуществляет лицензируемых видов деятельности.

Текущая политика и направления деятельности Фонда:

- Наука, образование и инновации;
- Критически важные инфраструктуры: энергетика, транспортные системы и другие;
- Азиатское сотрудничество и развитие Дальнего Востока РФ;
- Социально-экономическое развитие регионов и городов.



Центральный офис:

Москва, 119 180 ул. Б. Якиманка д. 1

Бэк-офис:

Москва, 127055 ул. Бутырский вал

д. 68/70, стр.1

тел.: (495) 725-78-06, 725-78-50

факс: (495) 725-78-14

E-mail: info@csr.ru

<http://www.csr.ru/>

О Фонде «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

Фонд «Центр стратегических разработок «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». Центр 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.



199106, Россия, Санкт-Петербург, 26-я линия
В.О., д. 15, корп. 2, лит. А

тел.: +7 (812) 380-03-20

факс: 380-03-20 (доб. 136)

E-mail: mail@csr-nw.ru

<http://csr-nw.ru/>

О Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого – крупнейший технический вуз страны с исторически сложившимися сильнейшими научными школами, имеющий неоспоримые результаты и достижения в научной, образовательной и инновационной деятельности. Основываясь на ключевых мировых тенденциях развития сферы исследований, разработок, технологий и образования, к 2020 году СПбПУ стремится войти в сотню лучших университетов мира, встав в один ряд с лидерами мирового образования. Именно эту задачу ставит масштабная государственная Программа «5-100-2020».

Стратегической целью СПбПУ является модернизация и развитие вуза как глобально конкурентоспособного научно-образовательного центра, интегрирующего мультидисциплинарные научные исследования и технологии мирового уровня и входящего в число ведущих мировых университетов.

Политехнический университет видит свою миссию как в обеспечении собственной конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках образовательных услуг, так и в том, чтобы стать надежным партнером государства в наращивании экономической мощи и международного влияния России: быть глобально конкурентоспособным научно-образовательным центром и войти в число ведущих мировых университетов, обеспечить опережающую подготовку кадров нового поколения и технологическую модернизацию системообразующих отраслей промышленности на основе применения мультидисциплинарных знаний и передовых надотраслевых технологий.



195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29

Тел./факс: +7 (812) 552 60 80

E-mail: office(a)spbstu.ru

<http://www.spbstu.ru/>

[00M 978 \$ 9909736 \$ 7



9 785990 973657