

# ГОРИЗОНТ 2040

ТЕХНОЛОГИИ



ПЛАТФОРМА НТИ





# ГОРИЗОНТ



# 2040

Проект «Горизонт-2040» был запущен в ноябре 2022 года Агентством стратегических инициатив и Российским экспортным центром после проведения одноимённой закрытой встречи экспертов на форуме Made in Russia.

Основными задачами проекта являются формирование видения ключевых вызовов и трендов, которые с разной степенью вероятности могут произойти в ключевых сферах социально-экономической жизни как российского, так и мирового сообщества, а также определение ключевых возможностей и угроз развитию на горизонте 2040 года.

Проект предполагает два этапа работ, результатом которых будет формирование видения сценариев развития России и определения возможности субъектной позиции нашей страны, учитывая контекст развития ключевых международных игроков.

В рамках первого этапа были сформированы 10 рабочих групп, которые проводили работу по отдельным тематическим доменам. В работе приняло участие более 130 ведущих российских экспертов, проведено более 70 встреч рабочих групп по обсуждению различных аспектов развития каждого из тематических доменов.

Данный текст является результатом деятельности рабочей группы «Технология».

Вся информация о работе проекта доступна на сайте [asi.ru](http://asi.ru).

# Технологии

## Глобальные технологические тренды 2022–2040 годов (часть 1)

Сценарная прогнозная оценка к 2040 году  
по ключевым направлениям развития  
технологий (ключевые тезисы)

## Автор доклада

---



### **Д. Р. Белоусов**

Руководитель направления анализа  
и прогнозирования макроэкономических  
процессов Центра макроэкономического анализа  
и краткосрочного прогнозирования (ЦМАКП)

---

# Предпосылки к изменениям глобальных технологических трендов в текущем десятилетии

Наиболее заметным трендом мировой экономики становится процесс концентрации финансовых и научно-технических ресурсов в небольшой группе стран и в крупных транснациональных корпорациях, сосредоточенных на финансировании передовых биотехнологий и цифровых решениях.

## Общие тренды и контексты научно-технической революции на современном этапе

Всё большее влияние на процесс НТР оказывают геополитические процессы, развивающиеся в рамках противостояния стран и транснациональных корпораций, уже владеющих ключевыми компетенциями и базовыми технологиями в ряде областей (в первую очередь в сфере микроэлектроники), которые определяют уровень технологического развития и конкурентоспособности других отраслей экономики.

Этому способствовал и произошедший в 2020 году массовый приток в экосистему цифровых платформ ранее закрытых личных данных граждан, произошедший по всему миру на фоне мирового кризиса. В результате вся мировая цифровая экосистема, базирующаяся на технологиях искусственного интеллекта, получила новый мощный импульс к развитию.

## Трансформация цифрового сектора

Ещё один заметный тренд – наиболее перспективные интегрированные информационные ресурсы ИИР в сфере цифровизации и биотехнологий, которые становятся все более дорогими. Даже крупнейшие ТНК не всегда могут полностью покрыть затраты на них из собственной прибыли.

В 2011–2019 годах происходило опережающее развитие цифровых услуг и ПО на фоне общего снижения наукоёмкости. Явной стала тенденция к удорожанию ИИР в сфере цифровых технологий, что делает невозможным успешное развитие соответствующих технологических направлений без привлечения дополнительного финансирования.

С учётом бурного развития цифровизации банковских и финансовых услуг можно прогнозировать дальнейшую консолидацию капи-

**Рис. 1. Сценарные факторы безопасности****Военно-технический аспект:**

- Начало быстрых войн со стороны технологически развитых стран, сокращение особого периода и сроков на стратегическое развёртывание группировок войск.
- Размывание грани между состоянием мира и войны.
- Резкий рост интеллектуализации боевых действий.
- Постепенное увеличение вероятности применения тактического ядерного оружия.
- Распространение пороговых и двойных технологий.
- Создание возможности для развёртывания средств вооруженной борьбы в космосе.
- Развитие гиперзвуковых воздушных и воздушно-космических средств.

талов цифровых и инвестиционных (банковских) корпораций и создание новых транснациональных конгломератов, контролирующих значительные и различные сектора мировой экономики и финансов.

Следует отметить, что высокие расходы на интегрированные информационные ресурсы не всегда обеспечивают пропорционально высокий уровень доходов. Выручка нефтедобывающих предприятий, на долю которых приходится чуть больше 1% расходов на ИИР, составляет больше 13% от суммарной выручки всех исследуемых компаний. При этом доля самой наукоёмкой отрасли, биотехнологий (18% расходов на ИИР за весь период), в общем объёме выручки – лишь около 5%.

**Возможная смена лидирующего центра силы**

До недавнего времени превалировал так называемый двойной баланс, при котором наука и частично ОКР размещались в США, а производство – в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР). Ныне наблюдаются следующие тенденции:

- принцип «производство и покупка долга в АТР – потребление и наращивание долга в США» подошёл к исчерпанию, если только в США не возникнет высокотехнологичный рынок, подобный по масштабу созданию доткомов 1990-х годов;
- Китай встал на путь высокой индустриализации с созданием собственной НИС полного цикла,

в то время как в США развивается реиндустриальный проект (новый хайтек + часть машиностроения, химии, металлургия). Заметным становится тренд самообеспечения энергоресурсами.

### Логика новой конфликтности

Явной тенденцией последних лет стало усиление напряжённости, которая в ближайшей перспективе, очевидно, будет только нарастать. Причина – по И. Валлерстайну, фактор начала «размывания гегемонии» прежнего глобального лидера (США), имеющего значительный военный и специальный потенциал, восхождение новых держав и необходимость в обеспечении суверенитета, контроля поставок ресурсов и информации. В результате происходит исчерпание основ старых институтов, когда, образно говоря, заёмщик не может диктовать правила кредитору. Отсюда рост напряжённости глобального конфликтного поля.

Существует, однако, и ряд сдерживающих факторов:

- мощные взаимозависимости старых и новых лидеров, при которых старые и новые центры не являются самодостаточными и сильно зависят друг от друга в производственном, финансовом и научно-технологическом отношении;
- в рамках логики безопасности сторонами предпринимаются усилия

по повышению автономности макрорегиональных центров силы, что объективно дополнительно высвобождает конфликтный потенциал. В результате глобальная конфликтность реализуется в превращённой форме региональных, локальных, а главное, внутренних конфликтов;

- инструментом новой силовой балансировки выступают локальные «войны по доверенности» и внутренние дестабилизации, позволяющие снизить риски лобовой конфронтации. Примечательно, что ряд потенциальных и существующих локальных и внутренних конфликтов находится в зоне стратегической ответственности России (Центральная Азия) или её безопасности (Украина).

Ещё одним важнейшим трендом последнего времени стала анонимизация конфликтов через использование ЧВК и новейших технических средств (ИКТ, дроны, в перспективе био-), которая снижает воспринимаемые риски и, главное, порог применения силы. При этом втягивание в конфликт может произойти поэтапно и незаметно.

### Риски безопасности – военно-технический аспект

Благодаря НТР в военной сфере происходит постоянное размывание грани между состояниями мира и войны,



а также отмечается возможность начала быстрых войн со стороны технологически развитых стран, сокращение особого периода и сроков на стратегическое развёртывание группировок войск, сил и средств. Заметными стали такие тенденции, как:

- резкий рост интеллектуализации боевых действий;
- постепенное увеличение вероятности применения тактического ядерного оружия;
- распространение пороговых и двойных технологий;
- создание возможности для развёртывания средств вооруженной борьбы в космосе;
- развитие гиперзвуковых воздушных и воздушно-космических средств.

### Три аспекта новой волны технологической модернизации мировой экономики

Современная мировая экономика претерпевает коренную трансформацию, состоящую из трёх взаимосвязанных процессов:

- 1) возникновение новых технологий и рынков, способных качественно изменить ситуацию на мировых рынках и в обществе. Сюда относят сильный ИИ, робототехнику, виртуализацию путешествий и образования, цифровизацию подготовки и реализации бизнес-решений, беспилотную доставку, низкоуглеродную энергетику и транспорт;

- 2) сочетание проникновения в традиционные отрасли новейших технологий, ведущих к трансформации отраслевых стандартов и диффузии «прежних новых технологий» (станки с ЧПУ, солнечные панели, ИКТ, интернет 4G и т. д.), в страны с дешёвыми природными и трудовыми ресурсами и молодым населением (Индонезия, Африка и т. д.);
- 3) ключевые рынки энергетических и сырьевых товаров, которые как минимум стабилизируются по объёмам. Возможно использование в качестве инструментов вытеснения конкурентов с маргинальных рынков экологических и углеводородных стандартов. Прежде всего речь идёт о странах Евросоюза.

Возникает риск того, что, с одной стороны, по мере выдавливания нашей страны с наиболее развитых рынков ей потребуется усиливать свои позиции среди менее требовательных развивающихся стран (особенно высокомаржинальных). Но именно там усилится конкуренция, подстёгиваемая проникновением в развивающиеся страны технологий «предшествующей волны». С другой стороны, в результате долгосрочной тенденции к повышению важности в экономике факторов энергоэффективности и снижению углеродного следа, а также вероятного ужесточения условий поставок из России произойдёт сжатие ренты как ресурса для развития.

# Большие тренды мировой экономики и технологической сферы

## Общие моменты

Задел в сфере технологий, достигнутый в первые два десятилетия нынешнего столетия, уже сегодня гарантирует ускоренное развитие или по крайней мере глубокую трансформацию в ряде секторов мировой экономики.

## Глобальная цифровизация

Наиболее заметными направлениями технологического развития в области цифровизации в ближайшие годы могут стать такие направления, как:

- дальнейшее развитие искусственного интеллекта (ИИ) (самообучающиеся системы различного назначения: распознавание образов, работа с большими данными, управление сложными процессами и др.). В результате ИИ все больше становится технологической базой для всей системы производства, распределения и потребления, в том числе высоко- и среднетехнологичного;
- квантовые вычисления и связь. Создание абсолютно защищённых и быстродействующих систем связи и управления. В перспективе это может привести к созданию «нового интернета»;
- системы дополненной (виртуальной) реальности;

- всепроникающие системы поддержки принятия решений в различных сферах применения, включая управление транспортными средствами, хозяйством «умных городов» и т. д.

## Саморазвитие цифровых технологий

Одним из новых качеств перспективных технологий может стать возможность саморазвития цифровизации вплоть до отраслевой сингулярности – замыкание развиваемого в интересах самого цифрового сектора ИИ на приток капиталов под ожидания и каскадный скачок развития в данном секторе.

Системный эффект – мультимасштабные и их экономика, благодаря чему могут возникнуть значительные по масштабам виртуальные миры, обладающие признаками социализации и воспроизводства внутри себя и при этом выводящие капитал этих миров в реальную экономику.

## Цифровая трансформация промышленности

Основные эффекты цифровой трансформации в сфере промышленности заключаются в формировании платфор-

**Табл. 1. Соотношение «больших трендов» и ключевых факторов**

	Демографический кризис/переход	ИТ-революция (шире – технологическая революция)	Экологические/углеводородные ограничения, энергопереход	Усиление глобальной конкуренции	«Новые деньги»
<b>Демографический кризис/переход</b>	Глобальный демографический переход. Быстрое старение населения	Трудозамещающие инновации. Технологические «слойки» «робот/человек/ии», продление активной человеческой жизни.	Изменение рационов питания.	«Непрямые» и малолюдные формы конфликтов	Кризис сбережений и его компенсация
<b>ИТ-революция (шире – технологическая революция)</b>	Третий демографический переход: высокотехнологическое одиночество отдельных индивидуумов. Усиление межпоколенческих и социальных конфликтов	«Технологическая сингулярность»: самообусловливание, развитие энергоёмких, особенно ИКТ	Адаптивные энергосети. Замена экономики товаров и услуг экономикой (дистанционных) впечатлений	«Национализация» интернет-платформ. Конкуренция искусственных интеллектов	Прослеживаемые транзакции, «окрашенные» деньги, возможность целевой эмиссии
<b>Экологические/углеводородные ограничения, энергопереход</b>	Дополнительная нагрузка на деторождение. «Дети антиэкологичны»	Ограничения на развитие энергоёмких ИТ-технологий (суперсервера)	Формирование экологического дискурса: успешности экономик, значимость ресурсов и результатов	Использование экологических стандартов как механизма глобальной конкуренции	Формирование рынка «зелёных облигаций», замыкание циклов
<b>Усиление глобальной конкуренции</b>	Наращивание роли факторов качества жизни, продолжительности активной жизни, рождаемости в основных регионах. Миграция за качеством жизни	Конкуренция ИТ-платформ, стандартов. Формирование пакета минимально достаточных компетенций в ИТ в «центрах силы». Институционализация киберпротоборства	Превращение экологических стандартов, квот, штрафов и т. п. в инструмент борьбы между глобальными игроками	Формирование и постепенная институционализация «центров силы», иерархических систем институтов	Формирование внутренних систем расчётов, включая криптовалютные
<b>«Новые деньги»</b>	Формирование адресных, «окрашенных» систем поддержки отдельных социальных групп	Самофинансирование ИТ-платформ. Система самовоспроизводства ИТ-сектора	Формирование «зелёной экономики», эмиссия под экологическую стабильность (а не рост рынков/экономики)	Конкуренция форматов эмиссии и использования «новых денег». Создание правил доступа к ним	Формирование новых денежных рынков (дополняющих по отношению к традиционным)

менной экономики. Её суть – превращение транснациональных компаний, контролирующих цифровые платформы, в центры капитализации и, главное, в хранителей массивов больших данных о поведении других субъектов экономики, о сделках и т. д. Это делает

их реальными центрами экономической гегемонии в новой экономике. Отметим, что цифровые платформы де-факто выполняют функции государства по контролю за соблюдением правил, условий сделок и применению санкций к нарушителям.

Табл. 2. Горизонт-2040

Новая технология	«Закрываемые» технологии и виды деятельности
Моделирование человеческого интеллекта, когнитивные модели сознания и поведения	Широкий спектр «стандартизованного» анализа и прогнозирования в бизнесе (включая финансовые рынки), метеорологии, медицине (вплоть до «цифрового врача»), образовании («дистанционный учитель»), военном деле и т. д.
Эволюция интернета («семантический веб», «интернет вещей»)	Революция в интеллектуальной деятельности («семантический интернет»). Новые стандарты де-факто для потребительской и, возможно, инвестиционной продукции (интернет вещей), продукции военного назначения
Радикальная трансформация рынков ИКТ в условиях смены технологической компонентной базы (прекращение действия закона Мура, развитие новых материалов, фотоники и др.). Создание прорывных квантовых технологий	Устаревание и «закрывание» традиционных ИКТ; смена стандартов де-факто в сопряжённых отраслях
Переход к персонализированной медицине, «медицине здоровья». Радикальное увеличение продолжительности жизни	Кризис традиционной массово-ориентированной медицины. Возможно распадение медицины на «старую» медицину для бедных и «новую» медицину для обеспеченных
Управление когнитивными способностями человека	Кризис традиционных бизнес-моделей, ориентированных на массовое производство лекарств
Повышение экологических требований к производству, транспортным средствам, продуктам питания, потребительским товарам, зданиям и сооружениям, отходам. Ужесточение требований безопасности производственных процессов, транспорта, потребительских товаров, зданий и сооружений. Индивидуализация потребления	Новые стандарты де-факто, делающие рынки закрытыми для традиционных товаров
Технологии продвинутой 3D печати	Внутренний кризис трудоёмких среднетехнологических машиностроительных и металлообрабатывающих отраслей
	Возникновение новых бизнес-моделей в высокотехнологичных отраслях (качественное расширение аутсорсинга, в том числе малых и средних компаний). Стимулирование переноса производства в развитые страны (нивелирование фактора низких издержек)
Развитие новой энергетики, систем аккумулирования энергии, управления энергосетями	Вытеснение с рынка углеводородов, дорогих по себестоимости добычи. Возникновение тренда к опережающему расширению рынка электромобилей и гибридов
Развитие роботизированных транспортных средств и вооружений	Вытеснение с рынка оборудования, услуг и т. д., связанных с выполнением стандартизированных задач (на железной дороге и т. д.). Сжатие ряда рынков традиционной военной техники и вооружений
Развитие гибких роботизированных производств, позволяющих индивидуализировать выпуск массовой продукции	Внутренний кризис ряда традиционных отраслей: сжатие традиционных трудоёмких производств («кандидаты» в лидеры новой роботизации – автопром, возможно производство массовой потребительской электронной и электротехнической продукции). Расширение возможностей переноса производств

Последствиями подобной трансформации являются:

- 1) минимизация транзакционных издержек, «уберизация» транспортно-логистических и иных вспомогательных услуг;
- 2) расширение возможностей выхода на рынки, включая глобальные, даже для малых и средних компаний. Преодоление «проклятия» привязки к традиционному поставщику узлов и агрегатов;
- 3) оптимизация технологических процессов (экономия материальных, энергетических, временных ресурсов);
- 4) возможность быстрой кастомизации продукции, в том числе в рамках массового автоматизированного производства;
- 5) формирование качественно новых рынков (например, рынка беспилотного транспорта);
- 6) создание качественно новых материалов и веществ с заданными свойствами за счёт их цифрового проектирования;
- 7) изменение экологических характеристик производственных процессов и свойств конечной продукции;
- 8) изменение объёмов и структуры спроса на человеческий капитал.

## Негативные последствия цифровизации и рост рисков кибербезопасности

Несмотря на повсеместный оптимизм относительно цифровых технологий, очевидно появление ряда отрицательных явлений, в том числе:

- 1) пределы использования интернета вещей для объектов жизнеобеспечения;
- 2) рост уязвимости общества к информационным войнам;
- 3) новая роль дронов;
- 4) исчезновение приватности;
- 5) «новое неравенство» на основе личных данных;
- 6) снижение издержек «цифровой антиутопии»: упрощение слежения, создание иллюзии выбора через персонификацию личного сетевого пространства;
- 7) рост рисков платёжных систем;
- 8) рост уязвимости к кибератакам, в том числе со стороны государств;
- 9) риски индивидуальных налоговых преступлений;
- 10) возникновение новых видов преступной деятельности, например взлом любых криптосистем, в том числе обеспечивающих «цифровые деньги».

# Ситуация в отдельных сферах технологий

## Энергетика и электротранспорт

Очевидными тенденциями ближайших десятилетий станут экспансия возобновляемой энергетики и замедление роста спроса на энергоносители.

Следует учитывать, что КНР – крупнейший в мире производитель солнечных батарей и крупный участник рынка атомной энергетики. А требования по ESG (критерии, с помощью которых можно оценить экологическую и социальную ответственность той или иной компании) для компаний, выходящих со своими акциями на Гонконгскую биржу, выше, чем в Лондоне.

Климатическое регулирование приведёт к снижению потребления ископаемых энергоносителей. Введение нового класса регулирования, связанного со стандартами выбросов углеводородов, несёт в себе риски существенного замедления объёмов потребления углеводородов (сценарий British Petroleum 2030-NZ). В этом сходятся все крупнейшие энергетические прогнозы. Объёмы мировых рынков нефти и особенно угля под влиянием активной политики стран-потребителей по ограничению потребления в ближайшее десятилетие значительно замедлят рост, а для угля, вероятнее всего, сократятся.

При этом общее сокращение замаскирует рост потребления угля развивающимися странами, если их энергетические

стратегии не претерпят изменения в самые ближайшие годы. В условиях подобного перехода цена в среднесрочном периоде перестаёт быть ключевым фактором динамики спроса и может очень существенно меняться в зависимости от конфигурации политики.

При сохранении коэффициентов роста, характерных для 2011–2021 годов, к 2031 году доля солнечной энергии **в совокупной первичной энергии** достигнет 14–17%, а доля ветряной энергии – 5–10%. В то же время доля нефти, газа и угля может сократиться до 21–23%, 20–22% и 17–20% соответственно.

Россия с точки зрения масштаба экономики и нефтяного сектора уже сейчас не может быть отнесена к устойчивым нефтяным экономикам. Нет никаких оснований ожидать роста спроса на углеводороды и цен на них. Исходя из этого Российской Федерации предстоит конкурировать на стоящих или сжимающихся энергетических рынках в условиях экологической и технологической гонки, причём со странами, изначально находящимися в более благоприятных условиях.

Солнечные и ветряные электростанции характеризуются незначительным эффектом масштаба. В совокупности с дешёвыми системами

накопления энергии, необходимыми для сглаживания пиков производства и потребления энергии, это приведёт к распространению локальных энергоси-

стем (микросетей) на отдельных коммерческих, инфраструктурных объектах или в домохозяйствах.

**Рис. 2. Периоды активного проникновения на рынок новых решений**



В атомной энергетике, сочетающей в себе доступность, надёжность, универсальность и экологичность, можно отметить следующие мировые тренды: переход на замкнутый ядерный топливный цикл и расширение ресурсной базы; создание ядерных реакторов IV поколения; распространение атомных станций малой и средней мощности; когенерация с наработкой тепла, опреснением воды, нефтепереработкой и/или производством водорода. По всем этим направлениям Россия является одним из мировых лидеров и имеет все возможности сохранить и приумножить технологическое лидерство к 2040 году.

В части перехода на замкнутый ядерный топливный цикл и расширения ресурсной базы ключевой технологией являются реакторы на быстрых нейтронах. Данная технология позволяет за счёт большой энергии нейтронов вовлекать в топливный цикл изотопы уран-238 и торий-232. Уран-238 составляет 99,3% природного урана, а запасы тория в земной коре многократно выше его запасов. При этом торий – это побочный продукт добычи редкоземельных металлов. СССР являлся лидером в освоении технологии реакторов на быстрых нейтронах. После долгого перерыва на Белоярской АЭС в 2015 году был запущен реактор «БН-800». В настоящее

время ведутся работы по строительству реактора БН-1200, который достигнет энергетической мощности, развиваемой типовыми блоками большой мощности ВВЭР, составляющими сейчас основу российской атомной энергетики. Запуск этого реактора планируется в 2030 году.

Кроме того, ведутся работы по созданию линейки реакторов со свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителем и полного цикла двухкомпонентной ядерной энергетики. В рамках этой работы идёт строительство реактора «БРЕСТ-ОД-300» со свинцовым теплоносителем электрической мощностью 300 МВт, пуск которого ожидается в 2029 году. Параллельно с реактором разрабатывается технология и строится демонстрационный комплекс переработки отработанного ядерного топлива и фабрикации нового его вида в замкнутом топливном цикле. Есть предпроектные разработки реактора СВБР-100 со свинцово-висмутовым теплоносителем.

По технологиям реакторов на быстрых нейтронах Россия является безусловным мировым лидером. Проекты США, Европы и Японии так и не вышли за пределы исследовательских реакторов, работы в Китае и Индии отстают

от российских. Ближе всего к реализации подошли Индия (ввод в эксплуатацию) и Китай (сооружение), при этом проект Китая выполняется с использованием российских технологий и комплектующих.

В части других технологий нового поколения следует отметить работы по высокотемпературному газоохлаждаемому реактору. В этом реакторе теплоносителем является гелий, нагревающийся до температуры 950 °С и далее передающий тепло водяному пару. Эти реакторы хорошо применять там, где требуется именно высокопотенциальное тепло, – для получения водорода паровой конверсией метана, разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и т. д. Запуск такого реактора мощностью 200 МВт предполагается между 2035 и 2040 годами. В этой технологии Россия сегодня отстаёт от Китая, где такие реакторы HTR-PM мощностью 240 МВт выведены на полную мощность в декабре 2022 года. При сооружении этого оборудования также использовались российские технологии.

Отдельно следует отметить технологии жидкосолевых реакторов. Это принципиально новый тип реакторов, где топливом и одновременно теплоносителем жидкого его вида является расплав соли, содержащий уран, плутоний и транс-



урановые элементы, как правило смеси фторидов или хлоридов. Одним из преимуществ данной технологии является возможность, кроме получения энергии, дожигания образующихся при работе ядерных реакторов других типов. Применение дожигания минорных актинидов позволяет избавиться от необходимости длительного захоронения долгоживущих радиоактивных изотопов, что существенно удешевляет обращение с полученными радиоактивными отходами и достигает цели возвращения в природу той же активности, что была изъята при добыче урана. Россия предполагает ввод в эксплуатацию такого реактора к началу 2040-х годов, что несколько отстаёт от намерений Китая и США.

Следует упомянуть и термоядерные технологии, где у России также есть задел. Само слово «токамак» для основного типа термоядерных реакторов было предложено советскими учёными в 1957 году. В СССР сформирован значительный задел в этой области, функционировали установки типа «токамак» вплоть до Т-15. В настоящее время Россия активно участвует в проекте международного термоядерного реактора ИТЭР для отработки технологии производства электроэнергии. Кроме того, в нашей стране создаётся проект

токамака реакторных технологий, который также способен давать излучение быстрого спектра для наработки делящихся изотопов и расширения сырьевой базы. Построить такой токамак предполагается к 2030 году, сейчас разрабатываются его эскизный проект и комплектующие. В области термоядерных технологий Россия находится среди мировых лидеров в части токамака реакторных технологий. Однако следует отметить некоторое отставание в технологиях, не связанных с классическими токамаками – стеллараторах, сферических токамаках.

Значительный опыт в области реакторов атомных ледоколов и подводных лодок, а также космических ядерных установок обеспечивает России приоритет в технологиях атомных станций малой мощности. Уже реализован проект плавучей АЭС «Академик Ломоносов» на основе реактора КЛТ-40, идёт проектирование АЭС в п. Усть-Куйга (Якутия) на базе реактора «РИТМ-200», ввод которой намечен на 2028 год. Также предполагается строительство морской версии малых АЭС на базе реактора «РИТМ-200» для энергоснабжения Баимского ГОК на Чукотке. Ведётся разработка и других малых реакторов. Особое внимание нужно обратить на реактор «Шельф»,

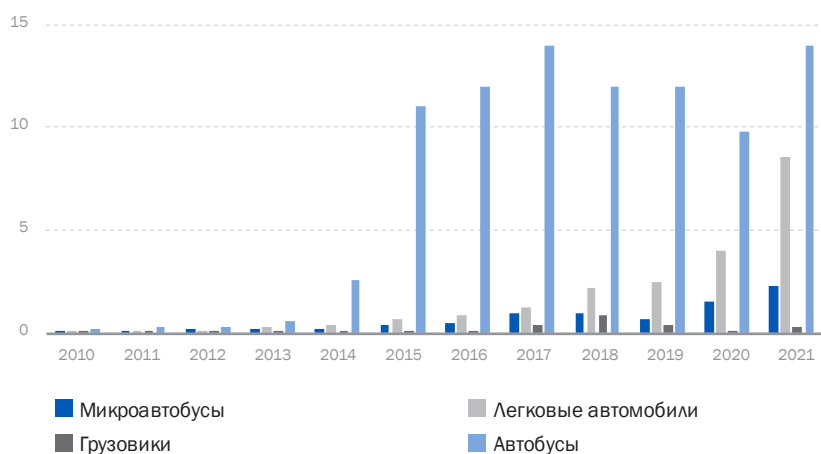
обслуживание которого подразумевается только на заводе-изготовителе без доступа внутрь реактора, и на термоэлектрическую станцию малой мощности «Елена», основным продуктом которой является тепло (3 МВт), а не электроэнергия. Стоит также отметить проект «ВВЭР-И», разрабатываемый ОКБ «Гидропресс» на базе технологий энергетических реакторов ВВЭР.

Хотя только у России есть рабочий экземпляр малой АЭС, важно сказать, что иностранные компании заявили о своих планах на создание малых АЭС. Основными

конкурентами здесь являются США, Франция, ЕС, Китай и Южная Корея. Следует заметить, что важным аспектом в развитии станций малой мощности остаётся развитие нормативно-правовой базы и инженерных решений, обеспечивающих низкую аварийность, физическую защиту реакторной установки и недопущение несанкционированного доступа к ядерным материалам. Чтобы сохранить лидерство в этой отрасли, необходимо создать отдельную нормативно-правовую базу по функционированию таких установок и уделить внимание инженерным системам охраны и контроля доступа.

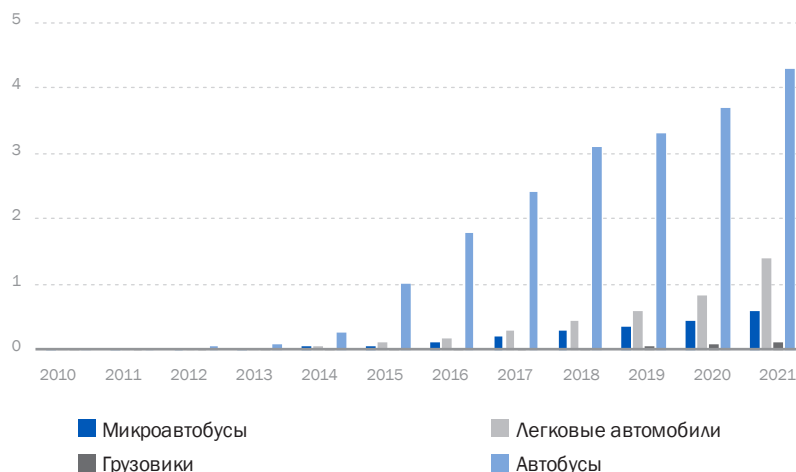
**Рис. 3. ВИЭ и электротранспорт: тренд**

Доля продаж электромобилей (BEV и PHEV) в мире по видам транспорта, %

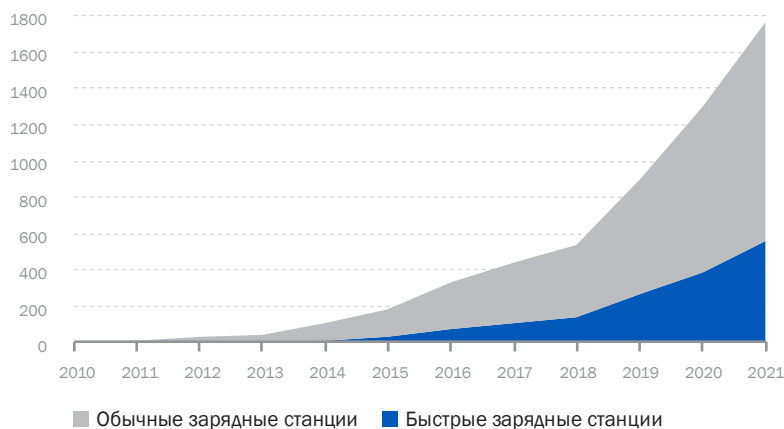


- Рост доли электробусов в продаже автобусов (в основном за счёт Китая) до 10–14%.
- Экспоненциальный рост доли электромобилей в продажах легковых автомобилей до 8% в 2021 году.
- С 2017 по 2021 год количество общедоступных зарядных станций выросло с 440 тыс. шт. до 1760 тыс. шт. (Без учёта частных зарядных станций, установленных в домах и на рабочих стоянках.)

### Доля электромобилей (BEV и PHEV) в мировом автопарке по видам транспорта, %



### Количество зарядных станций для электромобилей в мире, тыс. шт.



Очевидной тенденцией останется экспоненциальный рост доли электромобилей в продажах легковых авто. Уже сегодня происходит рост доли электробусов в продаже автобусов (в основном за счёт Китая) до 10–14%. Продолжится

и рост числа зарядных станций. В предыдущие годы – с 2017 по 2021 год – количество общедоступных зарядных станций выросло с 440 тыс. до 1760 тыс. (без учёта частных зарядных станций, установленных в домах и на рабочих стоянках).

## Технологии искусственного интеллекта

Со времён начала промышленной революции и до настоящего времени машины дополняли и расширяли возможности человека в физическом труде, а также в выполнении вычислений. С появлением искусственного интеллекта (ИИ) открылись перспективы по дополнению и расширению возможности человека в творческой работе.

Развитие ИИ до 2023 года в основном шло в направлении работы с информацией (тексты, изображения, звук и т. д.) на основе обработки больших данных. Прежде всего говорилось об обработке больших данных различных форматов (текст, изображение, видео), а также о замене или дополнении человека при решении любых задач, которые могли быть оцифрованы. Явными преимуществами ИИ в этом случае были его способность осуществлять деятельность безостановочно 24 часа в сутки 7 дней в неделю, а также высокая производительность. ИИ этого поколения требовал больших данных для обучения. Отсюда возникали проблемы объективности (субъективности исходных данных) и сложность его использования в новых областях/областях деятельности или знаний. Особняком стояли, кроме того, вопросы интеллектуальной собственности.

К 2040 году тенденции развития ИИ кардинально изменятся. Весьма вероятно, что он приобретёт самостоятель-

ность в получении, создании и обработке информации вплоть до принятия самостоятельных решений. Преимущества такого подхода заключаются в получении сильного искусственного интеллекта, подобного человеческому абстрактному мышлению. Он будет способен работать с информацией на всех стадиях – от сбора и получения её из окружающей среды до самостоятельных технологических разработок и решений. Возможна даже антропоморфизация ИИ – способность полной замены человека. В этом случае ИИ сможет выступать как полноценный советник, собеседник, друг и т. д. Недостатки развития данной технологии в этом случае заключаются прежде всего в возникновении этических проблем. ИИ будет способен вытеснять людей не только из профессиональных областей, но и в целом из социума. Могут возникнуть риски роста неравенства, появления преступности с использованием ИИ и т. д. Возможен и экзистенциальный риск – самоосознание ИИ себя машиной, которая контролирует критическую инфраструктуру и многократно превосходит человечество по осведомлённости и скорости принятия решений.

Основные профессии, в которых ИИ может полностью заменить человека, – копирайтинг, медиа (журналист, редактор), дизайн (брендинг, интерьер, промышленный дизайн), перевод с иностранных языков, коммуникации (кол-центры, диспетчеры), контролируемые службы и сервисы, вождение транспорта, социализация и общение (психолог), а также программирование.

Табл. 3. Сфера применения

Сфера применения	2023	2040
<b>Информация</b>	Поисковые системы в интернете с возможностью найти и сформулировать ответ на заданный пользователем вопрос	Новостные и другие интернет-ресурсы, созданные и управляемые ИИ
<b>ИТ</b>	Написание кода под конкретную задачу, отладка кода	Комплексная разработка и обслуживание ИТ-продуктов, разработка персонифицированных ИТ-продуктов
<b>Медицина</b>	Распознавание образов на МРТ, КТ, рентгене и т. п., подбор действующих веществ на роль антибиотиков	Персонализированная медицина, разработка широкого спектра лекарств и оборудования (в том числе с применением квантовых вычислений)
<b>Транспорт</b>	Системы помощи водителю/автопилоту; системы контроля дорожного движения и логистики, выявление безбилетников в метро	Система автономного движения, в том числе в связке «транспортное средство – дорога»
<b>Общество</b>	Виртуальный помощник (домашний помощник, навигатор по банковским услугам и т. д.)	Полноценная социальная функция (друг, психолог, собеседник, персональный консультант и т. д.)
<b>Производство</b>	Распознавание образов в робототехнике	Системы контроля за технологическим процессом, отключение оборудования в случае нештатных ситуаций
<b>Исследования и разработки</b>	Поиск закономерностей в данных	Комплексные системы исследований и представления результатов
<b>Торговля</b>	Кастомизированные предложения, выявление попыток кражи в супермаркетах, идентификация блюд и расчёт стоимости для оплаты в столовой	Безлюдные предприятия общественного питания

В материальном производстве возможно возникновение разнородной иерархической системы, включающей работников различных профессий, роботов и ИИ. При этом в одних случаях человек будет использовать ИИ для работы, а в других – ИИ поставит задачи человеку и проконтролирует их выполнение.

Очевидно, что подобная подмена человека ИИ приведёт к ряду общественных проблем, в том числе таких, как рост безработицы, неравенства, преступлений с использованием ИИ, снижение мотивации личностного развития и творчества у детей, возникновение проблемы социализации у молодёжи (если ИИ заменяет человеку другого человека), утрата приватности, что близко к тотальному контролю частной жизни.

Сюда же стоит добавить и своеобразный аспект «зловещей долины» – отторжение человеком ИИ, слишком подобного человеку (известный эффект в робототехнике по подсознательному неприятию человеком слишком антропоморфного робота).

В связи с выходом ИИ на качественно новый государственный и межгосударственный уровень также может возникнуть ряд негативных тенденций. Это гонка вооружений в сфере ИИ, угроза ошибок со стороны ИИ (недоверие к ИИ будет означать потерю эффективности, доверие – усугубление риска возникновения критических ошибок). Актуальными будут вопросы легитимности и моральности ИИ, а также риски утраты прозрачности систем с ИИ.

## Биомедицина

Уже сегодня медицинские и биологические технологии развиваются невероятно бурно. Среди наиболее заметных достижений можно отметить радикальное продление комфортной и активной жизни человека, лечение наследственных и хронических болезней за счёт коррекции генома, адресной доставки лекарств и персонализированной медицины. Ожидаются «большая интеграция» медицинских и ИТ-технологий, а также появление обратной конвергенции (использование ДНК для хранения и преобразования информации)

Очевидно, что ныне существующие стандарты и принципы медицины должны быть радикально пересмотрены. Классические лекарства действуют на весь организм, и лишь небольшая часть активных веществ достигает нужной ткани. Для лечения определённых заболеваний это может быть критично, как, например, в химиотерапии при онкологических заболеваниях.

Современная медицина зачастую не может объяснить принципы протекания различных заболеваний на клеточном и молекулярном уровнях внутри живого организма. А суще-

### Рис. 4. Life Sciences и Biotech – быстрорастущие междисциплинарные области

#### Ключевые факторы, определившие привлекательность рынка:

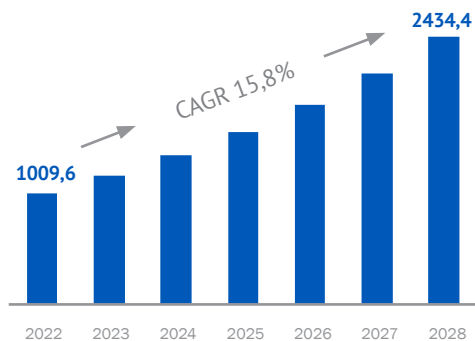
1. Положительные прогнозы рыночной динамики:

## 1 трлн долл. × 2.4

Объём мирового рынка биотехнологий<sup>1</sup>

Ожидаемый рост рынка к 2028 г.

Средняя агрегированная динамика рынка, \$ млрд:



<sup>1</sup> Bloomberg. Biotechnology Market Size

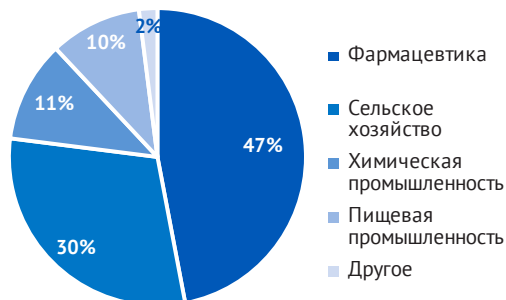
2. Высокий инвестиционный потенциал проектов:

Из 59 публичных биотехнологических компаний у 3 трёх компаний акции выросли на 1000%, у 20 – более 100%

46 – средний мультипликатор P/E

При этом средний показатель для сектора здравоохранения равен 27

Сегментация рынка Biotech, %:



ствующие диагностические методы для диагностики различных заболеваний пока ещё недостаточно чувствительны, особенно на ранних этапах.

Ожидается, что в ближайшие годы подобная ситуация изменится в связи с новейшими биомедицинскими технологиями, такими как картирование и моделирование мозга, генная инженерия, тераностика, клеточная и тканевая инженерия. Свою лепту внесёт внедрение в отрасль квантовых и информационных технологий – больших данных, квантовой фармакологии, квантовых биосенсоров, цифровых двойников человека и т. д.

Очевидно, что в ближайшие десятилетия бурное развитие биомедицинских технологий будет только нарастать. К чему это приведёт?

Прежде всего может появиться возможность корректировать геном человека сначала в медицинских, а затем и в немедицинских целях. Ожидается, что это случится в течение ближайших 15–20 лет. Речь идёт о CRISPR-технологии коррекции генома взрослого организма (между прочим, первые CRISPR-дети уже родились). Что это даёт? Получим ли социальное неравенство, закреплённое биологически? Или произойдёт разрушение концепции фундаментального равенства людей, базового для нашей цивилизации? Как отреагируют на это общество в целом и его отдельные институты?

## Роботы и беспилотники

За последние годы количество промышленных роботов почти удвоилось. Если в 2015 году их среднемировой показатель составлял 66 на 10 тыс. работников обрабатывающей промышленности, то уже в 2020 году было 126 роботов на 10 тыс. работников. Рост произошёл преимущественно за счёт стран Азии. В 2021 году 78% новых промышленных роботов были установлены в пяти странах – в КНР, Японии, США, Республике Корея, Германии. Причём крупнейшим их рынком с 2013 года является Китай: на него в 2021 году пришлось 52% новых промышленных роботов. Лидерами стали Республика Корея, где на 10 тыс. работников обрабатывающей промышленности приходится 932 робота, и Сингапур (605).

В отраслевом разрезе лидерами применения промышленных роботов выступают автомобилестроение и производство электрических и электронных изделий (бытовой техники, электрооборудования, полупроводников, солнечных панелей, компьютеров, телекоммуникационных устройств и т. д.).

В России в 2019 году насчитывалось пять роботов на 10 тыс. работников. Предположительно, развитие робототехники в РФ может привести к технологическому рывку, который резко, системно и необратимо изменит рынок труда в следующие 10–15 лет.

Как отмечают эксперты Международной федерации робототехники (IFR), в России реализуются масштабные

образовательные проекты в школах и вузах, на которые приходится 31% продаж сервисных роботов и 10% продаж промышленных. По оценке IFR, это может стать основой будущего толчка в развитии коммерческой робототехники в России, как некогда курсы информатики, проводимые в СССР с 1985 года, стали основой российской отрасли ИТ в 1990–2000-е годы.

Развитие беспилотного транспорта достигло значительных успехов в ряде стран, включая Россию. В настоящее время широко применяются системы помощи при вождении автомобилей и тестируются беспилотные технологии в различных видах транспорта – в автомобильном, рельсовом, карьерном и т. д. В отдельных случаях уже ведётся их коммерческая эксплуатация.

Можно выделить ряд направлений, в которых ожидается наиболее скорое распространение беспилотного транспорта:

→ перевозка грузов на промышленных объектах по заданным размеченным маршрутам;

- сельскохозяйственные комбайны с автономным управлением;
- междугородние грузовые рейсы по размеченным маршрутам;
- беспилотные технологии управления рельсовым транспортом;
- беспилотные автомобили в городах на дорогах общего пользования.

БПЛА широко применяются также для оценки состояния посевов и внесения удобрений, в добыче полезных ископаемых и энергетике для контроля за инфраструктурными объектами, как средство доставки грузов по городу или в труднодоступные районы.

Хотя развитие БПЛА в России и отстаёт от мировых трендов, тем не менее в стране присутствуют как производители, так и значительный рынок сбыта аппаратов и предоставляемых ими услуг как гражданского, так и специального назначения. Среди основных российских разработчиков и производителей стоит отметить ZALA Aero Group, ГК «Кронштадт», «Агродронгрупп», «Финко» и другие.



---

**Хотя развитие БПЛА в России и отстаёт от мировых трендов, тем не менее в стране присутствуют как производители, так и значительный рынок сбыта аппаратов и предоставляемых ими услуг как гражданского, так и специального назначения.**

---



## Развитие цифровых метавселенных

Уже в 2020 году общий объём рынка метавселенных и связанных с ними технологий и сервисов оценивался агентством Bloomberg

в 478,7 млрд долларов. К 2024 году потенциал роста может составить 783,3 млрд долларов, что делает область разработки данной сферы весьма перспективной для большого числа участников мирового инвестиционного рынка.

Сегодня можно с уверенностью говорить о существовании как части объективной реальности цифрового пространства, в котором находят своё «отражение» объекты, субъекты и процессы реального мира. Этот мир пока не един, его части могут быть слабо связаны между собой, но он уже существует и никуда от нас не денется.

Все большее количество процессов человеческой деятельности и производственной, культурной, бытовой и духовной коммуникации переносятся в цифровой мир или опосредуются им. Все эти процессы оставляют в цифровом мире свои следы, которые в свою очередь становятся материалом для анализа, изучения и последующего воздействия на человека.

Степень реальности цифрового мира возрастает. Некоторые объекты в физическом мире уже не существуют, они есть только в цифровом, например авиабилеты или свидетельства о собственности. События

и объекты, не имеющие цифровых следов (образов), легко могут быть объявлены не существующими.

Цифровой мир является материализацией пространства знаков, с которым человечество живёт и взаимодействует с момента изобретения письменности.

Особенность сегодняшнего момента состоит в том, что процессы сопоставления объектов реального мира и цифрового, процессы оперирования знаковыми (цифровыми) объектами и перехода от знаковых (цифровых) объектов к реальным так же автоматизируются. Раньше только человек мог записать музыку нотами, а другой мог по ним её сыграть – сегодня эти и иные подобные преобразования массово могут делать машины, ИИ.

Машины, то есть системы на основе ИИ, способны создавать цифровые объекты, которые при переходе к воспринимаемому человеком образам будут неотличимы от образов реальных

объектов – фотографий, видео, голоса/звука, стиля речи и др. В дальнейшем эта способность будет усиливаться, что создаёт новые возможности как для творчества, общения и самовыражения людей, так и для фальсификаций и манипуляций.

При этом человеческие коммуникации переходят в цифровой мир. С одной стороны, создаваемые компаниями-разработчиками новые формы и форматы коммуникации в цифровом мире (социальные сети, мессенджеры, системы голосовых и видеоконференций, видеохостинги, стриминговые платформы, доски для коллективной работы, и маркетплейсы) повышают интенсивность, широту, плотность и скорость человеческого общения. С другой – техническая возможность для редактирования, контроля и изменения передаваемых сообщений разрушает характерную для офлайна непрерывность коммуникации. Уже сейчас можно в режиме реального времени корректировать видеопоток (добавлять фон, маски, убирать и вставлять объекты и пр.). В дальнейшем по мере развития ИИ-технологий возможности цензурирования и искажения сообщения возрастут многократно (пранкеры, цензура поисковых выдач и др.).

Тотальная цифровизация формирует глобальный тренд – вызов достоверности информации цифрового мира. Он включает в себя:

- проблему достоверности (цензурирования) выдачи поисковых машин, общеизвестной информации (например, редактирование «Википедии»);
- проблему достоверности идентификации собеседника (взлом аккаунтов, пранкеры и др.);
- проблему достоверности юридически значимых и финансовых операций.

Существующие разработки на основе распределённого реестра и блокчейн-технологий, перекрёстной идентификации, биометрии пока справляются, но примеры их взлома регулярно появляются. Квантовые вычисления могут сломать этот хрупкий баланс.

Проявляется тренд на создание цифровых коммуникационных суперсервисов. Логика развития специализированных коммуникационных систем (платформ), таких как социальные сети, мессенджеры, маркетплейсы и др., ведёт их разработчиков к созданию суперсервисов или суперприложений, объединяющих в рамках одной платформы целые семейства разнородных коммуникационных сервисов, претендующих на то, чтобы охва-

тить максимальное количество (а то и все) запросов и потребностей человека, в том числе создаваемых.

Примером попытки создания такого суперсервиса является корпорация Цукерберга «Мета», в котором суперприложение создаётся на базе социальной сети и графического интерфейса. Другие подобные примеры – китайский WeChat (на базе мессенджера, для внутрикитайского использования) и Taobao Yuan Universe (на базе маркетплейса, для внешних пользователей).

Все коммуникационные суперсистемы интегрируются с платёжными сервисами и сервисами доставки товаров. На сегодня пока ни одна компания не смогла создать суперсервис, логичным и удобным образом собирающий в себе всю совокупность коммуникационных сервисов. Но работы в этом направлении активно продолжаются, даже несмотря на видимый неуспех «Меты».

Компания – создатель такого суперсервиса получит исчерпывающую информацию о каждом конкретном пользователе (его ФИО, местожительство, круг общения, потребительские

и политические предпочтения, уровень доходов, состояние здоровья, география перемещений и т. д.). У неё будет (а некоторые уже имеют) возможность полного контроля за входящими и исходящими информационными потоками пользователей и право вносить в них любые поправки и искажения. Пример – «Гугл» не находит поиском по картинке старый герб Тегерана, а «Яндекс» находит и т. д.

Перспективы новых коммуникационных интернет-технологий. В настоящее время наиболее заметными являются восемь крупных проектов создания метавселенных. Три из них реализуются американскими корпорациями Facebook/Meta, Apple, Roblox, четыре – китайскими Tencent, Alibaba Group (Taobao), Sina Weibo, Baidu (XiRang), ещё один – распределённым сообществом Decentraland.

Проекты создания виртуальных вселенных анонсированы ещё несколькими компаниями, но пока они не имеют продуктовой реализации. Среди них можно выделить компании из Турции (TRT Metaverse), Дубая и Таиланда (проект Metaverse of Dubai как часть международного

проекта Metaverse Global, другой частью которого также заявлена Metaverse of Thailand) и России (проект Sensorium Galaxy, принадлежащий группе «ОНЭКСИМ»).

Формирование собственной цивилизационной, ценностной геополитической повестки в чужой коммуникативной среде в силу её технологических особенностей маловероятно и, скорее, невозможно. Задача формирования российской коммуникативной среды с одним или несколькими суперсервисами, в рамках которых будут решены задачи достоверности, приватности и безопасности, является актуальной для цифровой повестки в краткосрочном и долгосрочном горизонтах.

Проведённый анализ визионерских и концептуальных документов, публикуемых ведущими мировыми аналитическими агентствами, а также стратегических манифестов крупнейших цифровых корпораций позволяет зафиксировать следующий вывод, вытекающий из описанных выше тезисов.

Ведущими игроками рынка массовых интернет-коммуникаций продумывается на концептуальном уровне и тестируется на уровне масштабных проектов

вопрос о том, что является предельным целостным объектом, вбирающим в себя как части различные коммуникационные сервисы и системы.

Мы зафиксировали два взаимодополняющих подхода к ответу на этот вопрос:

- инструментально-технологический подход, в рамках которого вводится концепт Web 3.0 как системы принципов и правил построения систем массовых интернет-коммуникаций;
- объектно-онтологический подход, в рамках которого предлагаются проекты суперсистем или суперсервисов, объединяющих различные коммуникационные сервисы и претендующие на реализацию внутри себя всех необходимых пользователю функций; такие суперсервисы получили условное название «метавселенные».

При этом оба подхода являются взаимно дополняющими, так как метавселенная отвечает на вопрос о том, что должно быть построено для обеспечения полного удовлетворения всех возможных запросов и потребностей пользователей, а принципы Web 3.0 – на вопрос о том, как должно быть организовано

взаимодействие пользователей и иных участников метавселенных друг с другом.

Тема создания метавселенных особенно ярко проявилась после заявления Facebook о создании собственной метавселенной Horizon Worlds и переименовании базовой компании в «Мета».

Metaverse (далее MV/метавселенная) – сеть (потенциальная) трёхмерных виртуальных миров в интернете. Миры метавселенной, как правило, предназначены для общения и требуют, чтобы пользователи имели виртуальную личность (например, аватары с определёнными атрибутами). Эти миры могут дать ощущение собственности на виртуальные объекты, такие как земля, здания и произведения искусства. Обычно они имеют свою собственную виртуальную экономику со своей валютой (собственной или общедоступной крипто). В метавселенных пользователи могут работать, играть, отдыхать, совершать сделки и общаться.

Коренным отличием метавселенных от существующих социальных сетей и других частных сервисов является их претензия на возможность полного осуще-

ствления всех актуальных и будущих запросов и потребностей пользователя в сети интернет относительно работы, общения, отдыха, творчества, покупок, инвестиций. «Мультиязычность», 3D-анимация и игроподобный интерфейс известных проектов метавселенных являются внешними, привлекательными для пользователя элементами, но не сутью данного явления.

Ключевыми составляющими метавселенных остаются интегрированные друг с другом элементы: социальные сети с системой доверенной идентификации пользователей, мессенджер, сервис аудио/видеоконференций, сервисы хранения, обработки и показа аудио-, фото- и видеоматериалов, поисковые и рекомендательные сервисы, системы закрепления и контроля авторских прав на цифровой актив и прав собственности, игровые среды, внутренние платёжные системы, связанные с национальными валютами, маркетплейсы товаров, сервисов и цифровых активов, в том числе игровых, сервисы доставки реальных товаров, инвестиционные сервисы, системы кибербезопасности.

## Человеко-машинный интерфейс

Количественный рост взаимодействий человека с машиной и разнообразия специализированных инструментов требует нового качества во взаимодействии одного с другим, чтобы обеспечить снижение «транзакционных издержек». Решением послужит развитие технологий бесшовного человеко-машинного интерфейса.

Рост значения человеко-машинного интерфейса будет обеспечиваться высоким разнообразием программных продуктов, что потребует сокращения времени освоения нового инструмента и разработки ограниченного количества протоколов взаимодействия с программными продуктами, которые могут использоваться в том числе для создания сетевых барьеров между технологическими зонами.

Нейротехнологии к концу прогнозного периода, видимо, будут близки к получению прямой коммуникации «мозг – компьютер». Это заставит задуматься о границах человеческой личности. Можно ли будет говорить о её суверенитете? Где пределы отчуждения и манипуляции? Не начнется ли деградация ментальных способностей?

### «Вторая космическая революция»

В период с 2023 по 2050 год ожидается резкий рост космической отрасли как в качественном, так и в количественном отношении. Это объясняется следующими техническими предпосылками:

- скачок в ИКТ, быстрая передача данных, развитие нейронных сетей и машинного обучения – адекватный инструментарий для решения сложных задач, в том числе в автономном от Земли режиме. Квантовые компьютеры – возможность нового рывка;
- новые материалы и в перспективе двигатели – удешевление вывода на грузок, в перспективе кратное;
- развитие экологии и биологии. Возникновение в обозримой перспективе возможности стабильного существования частично замкнутых экосистем на орбите и поверхности планет.

Также ожидается возникновение в этой сфере капиталов и институтов, способных концентрировать частные ресурсы на решении крупномасштабных высокорискованных задач. Возможен приход в сферу частного бизнеса и кратного наращивания её капитализации. При таких условиях космос превратится в дойную корову для таких уже привычных для бизнеса направлений, как телекоммуникация, ДЗЗ, туризм, страхование пусков.

Ключевыми моментами применительно к космической отрасли являются следующие:

- 1) в мире – вторая космическая револю-

- ция. Космическая деятельность в мире будет интенсивно развиваться. При этом ожидается развитие как крупномасштабных государственных проектов по исследованию космического пространства и небесных тел (вероятно, также развёртывание военных программ), так и частной космонавтики. При этом государство (военные, космические агентства) и частный космический бизнес находятся в состоянии синергии: государство выступает для бизнеса значимым заказчиком и источником ресурсов развития, а бизнес для государства становится важным партнёром, в частности в выполнении государственных функций;
- 2) от «точечных прорывов» к «глубокой операции». Сегодня работа в космосе основана во многом на активном освоении низких околоземных и геостационарных орбит. Обычным явлением стали спутниковая связь, навигация, отслеживание транспортных потоков, обеспечение поисково-спасательных операций и так далее. Хотя эта ситуация, очевидно, сохранится и дальше, можно ожидать следующего шага. Быстрое удешевление стоимости доставки грузов на орбиту как в результате развития собственно ракетно-космической техники, так и благодаря относительному удешевлению топлива, формированию стандартов работы с космическими объектами и контролю рисков в этой сфере создают экономическую и правовую возможность для формирования уже в обозримой перспективе принципиально новых видов деятельности на орбите. Они могут включать в себя космическое производство в условиях микрогравитации, космическую энергетику, работу с космическим мусором, создание хранилищ данных, экономическое освоение небесных тел, включая Луну;
- 3) новый тренд в освоении внеземного пространства – космический бизнес. Частная космонавтика по мере снижения стоимости запусков (из-за усиления конкуренции, новых технических решений, умеренных цен на углеводороды и т. д.) становится важнейшим драйвером развития всей отрасли, приходя не только в традиционно частные сферы (например, телекоммуникации), но и в отрасли, в существенной степени или полностью контролируемые государством (ДЗЗ, пилотируемые полёты, в перспективе деятельность на небесных телах). Можно ожидать и новых, пока не сформировавшихся сфер деятельности частных компаний в космосе;
- 4) начинается стремительный рост

рынков. Развитие частного космического бизнеса делает отрасль инвестиционно привлекательной для всё новых, ранее никогда в космосе не работавших компаний (Google, Amazon, Alibaba). Это в свою очередь создаёт возможность для стремительного масштабирования частного космического бизнеса, дальнейшего снижения затрат и на этой основе возникновения всё новых сфер частной космической деятельности;

- 5) новые игроки и потребители – институциональная революция. Развитие бизнесов в космосе, очевидно, приведёт к институциональным революциям, позволяющим экономизировать деятельность в космосе, включая использование ресурсов небесных тел, и обеспечить эффективный суверенитет над космическими объектами и их безопасность. По мере роста рынков и повышения их управляемости можно ожидать формирования новых игроков в сфере космоса, включая малые и средние компании. Одновременно продолжит развиваться спрос. Помимо традиционной

потребности со стороны государства, организаций науки и крупных компаний все больший объём запросов на услуги из космоса предъявляют малый бизнес, муниципалитеты, учреждения образования, население;

- 6) от отдельных историй успеха – к новой экосистеме. С учётом масштабов космической деятельности нам предстоит сформировать даже не отдельных «национальных чемпионов» (при всей важности этой задачи), а полномасштабную экосистему, включающую, помимо собственно космических компаний, потребителей их продукции (услуг), поставщиков, систему специального образования, возможно специфические финансовые институты;
- 7) двойное назначение. Космическая деятельность имеет в существенной степени двойной характер, и её роль в обеспечении национальной безопасности быстро растёт.



Таким образом, можно увидеть несколько основных этапов развития космической отрасли как в ближайшей, так и в отдалённой перспективе.

**Сегодня:** активное освоение низких околоземных и геостационарных орбит обеспечивается за счёт спутниковой связи, навигации, дистанционного зондирования Земли, отслеживания транспортных потоков, обеспечения поисково-спасательных операций и т. д.

**Завтра (горизонт – до 2030 года)** формирование инфраструктуры всепроникающего интернета вещей,

в том числе в интересах сетей беспилотного транспорта, формирование комплексной цифровой услуги, опирающейся на космическую инфраструктуру. Возможная глобальная ниша для нашей страны заключается в формировании независимого от США источника такой услуги для всего мира.

**Послезавтра (до 2040–2044 годов):** космическое производство в условиях микрогравитации, космическая энергетика, работа с космическим мусором, создание хранилищ данных, экономическое освоение небесных тел, включая Луну.

**Табл. 4. Космос: таймлайн**

	Главные события в мире	Косвенные бенефициары
До 2025	Глобальный доступ в интернет, точная навигация Удешевление запусков за счёт многоразовости носителей и топливной эффективности Экспериментальная отработка уборки космического мусора	Нынешние, плюс частный бизнес в сфере ракетостроения Авиапромышленность Химия и материаловедение
2025–2040	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Воздушный запуск</li> <li>• Аэрокосмические системы, суборбитальные и мезосферные транспортные системы</li> <li>• Масштабный космический туризм</li> <li>• Мезосферные спутники управления погодой</li> <li>• Экспериментальные орбитальные производства ценных или особо опасных продуктов, производства с опасными технологиями</li> <li>• Полеты автоматов к другим планетам, базы исследовательских станций-автоматов на орбитах планет Солнечной системы</li> </ul>	Добавляются: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Транспорт</li> <li>• Авиапромышленность</li> <li>• Частная космонавтика</li> <li>• Робототехника (полностью роботизированные производства), автономные роботы и их сети</li> <li>• Искусственный интеллект и быстрая обработка данных.</li> <li>• Сенсорика.</li> <li>• Биотех, биофарма, нанотех</li> <li>• Сопряжённые финансовые сферы</li> </ul>
2040–2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Постоянные базы на Луне, на орбитах (поверхности)</li> <li>• Орбитальные стапели Марса и Венеры с полужамкнутым циклом</li> <li>• Геологическое исследование планет, острые эксперименты»</li> <li>• Масштабное производство вне Земли опасных и ценных продуктов</li> <li>• Космическая энергетика</li> </ul>	Добавляются: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Геология и разведка полезных ископаемых на Земле</li> <li>• Освоение дна океана</li> <li>• Нейротехнологии и когнитех</li> <li>• Финансовый сектор – бум на новых инвестиционных идеях</li> </ul>

## Квантовые технологии

Технологии, основанные именно на таком высоком уровне контроля над индивидуальными квантовыми объектами, принято объединять термином «квантовые технологии». Прежде всего речь идёт о способности управлять сложными квантовыми системами на уровне отдельных индивидуальных квантовых объектов, например атомов, ионов и фотонов. Прогнозный объём мирового рынка таких технологий уже в ближней перспективе составляет 1,7 млрд долларов к 2026 году, а ожидаемая динамика роста рынка – 30,2% в среднем за год (в рамках логики CAGR).

### Квантовые вычисления

Основные технологические тренды данной технологии:

- увеличение мощности и качества квантовых процессоров;
- развитие специализированных вычислителей, ускоряющих переход бизнеса на квантовые вычисления (аппаратно ускоренные квантовые эмуляторы и цифровые аннилеры);
- появление и развитие первых настольных квантовых компьютеров для образовательных целей;
- появление промышленных квантовых приложений;
- упрощение работы с квантовыми вычислениями для RnD-персонала через развитие языков программирования, трансляторов и специализированных библиотек. Тренды коммерциализации и государственной поддержки;
- рост объёма частных и государственных инвестиций в квантовые вычисления.
- предоставление вычислительного времени квантовых вычислителей через классические облачные маркетплейсы, увеличение доступных квантовых вычислений;
- уменьшение стоимости вычислительного времени облачных квантовых вычислений;
- рост количества пилотных проектов, публикаций и патентов. Открытие промышленных центров компетенций по квантовым вычислениям.

### Квантовые коммуникации

Технологии, направленные на устранение угрозы информационной безопасности, в том числе со стороны квантовых компьютеров, включают использование свойств квантовых систем для передачи ключей.

Основная технология – квантовое распределение ключей (КРК). Её главное преимущество – защищённость информации, гарантированная законами физики. На программном уровне от квантовой угрозы можно использовать решения постквантовой криптографии.

Приоритетные отрасли для данных коммуникаций – защита национальных информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечение защиты информации

для финансового сектора, государственных органов, крупных технологических компаний и держателей критической информационной инфраструктуры.

В России данные технологии развиваются в рамках дорожной карты по квантовым коммуникациям. За её реализацию отвечают такие компании, как ОАО «РЖД», Газпромбанк, S-Terra. Первые в отечественной практике успешные испытания квантовых систем проведены в ограниченном периметре Газпромбанка. Кроме того, были созданы уникальные совместные квантово-устойчивые решения с производителем криптооборудования «С-Терра СиЭсПи» и проведена демонстрация работы квантово-устойчивого ПО на отечественных процессорах «Байкал» и «Эльбрус» для Сбербанка, Газпромбанка и «Росатома». Проект по созданию открытой квантовой сети реализован участниками консорциума центра компетенций национальной технологической инициативы (НТИ) «Квантовые коммуникации», созданного на базе НИТУ «МИСиС» (МТУСИ, ООО «КуРЭйт», ООО «Код Безопасности»).

### **Фотоника: состояние, перспективы, потенциал в России**

Термин «*фотоника*» чаще всего употребляется в применении к конкретным современным технологиям и практическим приложениям оптики в информационных технологиях, биологии и медицине, в системах получения и генерации изображений и т. д.

Цифровая трансформация экономики и общества ведёт к качественно новым запросам, предъявляемым к технологиям, обслуживающим человечество. В XX веке ответ на значительную часть технологических запросов давала и продолжает давать сейчас *полупроводниковая микроэлектроника*, постепенно перешедшая от массивных систем в дискретном исполнении к интегральным схемам с постоянно растущей плотностью элементов и рабочей частотой.

Во второй половине XX века и в XXI веке постоянно повышается роль *фотоники* как технологии способной дополнить, а в ряде случаев и заменить современные микроэлектронные системы. Замена (или дополнение) фотоникой микроэлектронных решений особенно актуально на высоких рабочих частотах (10 ГГц и выше), востребованных в высокоскоростных системах передачи и обработки информации.

Системы генерации, передачи и обработки информации будущего будут построены на принципах интеграции фотоники, микроэлектроники и в ряде случаев квантовых технологий. Основные преимущества такой интеграции начинают проявляться при изготовлении в *интегральном исполнении* (на чипе) – так достигаются необходимая компактность, низкое энергопотребление, радикальное снижение себестоимости.

Развитие технологий *интегральной фотоники* в сочетании с микроэлектроникой и квантовыми технологиями видится наиболее приоритетным направлением развития. Данную

сферу в ближайшем будущем ожидает развитие темпами, аналогичными росту микроэлектроники в конце прошлого века.

Фотоника является одной из немногих «хардверных» технологий, в которой у отечественных производителей и разработчиков имеется уровень компетенций и наработок, сравнимый с мировым. Уже создана технологическая база для разработок с целью дальнейшей постановки экспериментального производства на самом высоком уровне в отличие, например, от микроэлектроники.

В настоящее время работа ведётся в следующих направлениях:

- отечественный дизайн-центр, заказ производства на азиатских фабриках;
- разработка базовых производственных технологий, ограниченное прототипирование в РФ (лимитированный функционал);
- полный цикл разработки и в перспективе производство в РФ.

Основной проблемой развития данного направления для РФ будет являться даже не технологический, а экономиче-

ский фактор, так как внутренние рынки слишком малы для появления экономической целесообразности перехода с дискретных решений на фотонные интегральные схемы. Возможное исключение – оптические трансиверы.

### Характеристика ситуации: субъектный аспект

Научно-технологическое развитие сосредоточено в ряде стран-лидеров.

Сегодня мы видим следующие тенденции:

- Китай окончательно становится экономикой с высокой индустриализацией» с созданием собственной НИС полного цикла;
- США реализуют реиндустриальный проект (новый хайтек плюс часть машиностроения, химии, металлургии; самообеспечение по энергоресурсам). Характерной стратегией для страны является управляемый технологический отрыв, поддерживаемый и институтами, и характером финансового цикла, и культурой.

**Табл. 5. Страны и позиции в научно-технологическом развитии**

Страны	Позиция безопасности	Наступательная позиция
Страны-лидеры	ЕС: защита лидирующего положения при помощи экологических и этических стандартов, обеспечение высокого уровня жизни в условиях полустагнации	США: формирование управляемого технологического отрыва от основных конкурентов, самовозрастающие активы как основа для устойчивости финансовой системы
Страны-претенденты на лидерство	Россия: обеспечение национальной безопасности. плюс выращивание «чемпионов»	Китай: формирование собственной инновационной системы
Страны, следующие за основными игроками	Япония: компенсация потерь от ухудшения по основным факторам производства	Корея, Индия, Бразилия: умная абсорбция технологий развитых стран. Собственные точечные прорывы
Страны – не игроки	Приём вытесняемых из стран-лидеров технологий и промышленного оборудования	

## Приоритеты технологической политики России в период до 2040 года

Очевидно, что в Российской Федерации наступили новые условия развития. В 2022–2023 годы они характеризуются такими особенностями, как системные санкции, рост социальной и оборонной нагрузки. Поскольку такие условия предполагают сохранение достаточно высоких темпов развития, необходимы новые подходы к развитию экономики.

### Проблемы технологической революции

Ситуация в глобальной мировой экономике меняется настолько сильно, что опираться на традиционную конкурентную позицию не имеет смысла. На этом фоне перераспределяются и роли в экономике: с одной стороны, во многих развитых странах происходят реиндустриализация и рещоринг, с другой – идут развитие НИС в Китае и его борьба за лидерство. Разрабатываются новые форматы энергетических рынков, происходит развитие «новой энергетики» и обсуждаются глобальные соглашения об ограничении потребления углеводородов.

Кроме того, перемены коснулись и технологий управления: самоорганизации (социальные сети, временные глобальные консорциумы, блокчейн-технологии) меняют формат управления бизнесами. Ожидается, что мощь такой новой экономики будет расти и дальше. С другой стороны, технологическая революция всегда вытесняет

предыдущие «высокие технологии» в развивающиеся страны (в Африку; ЮВА) с их очень низкими трудовыми издержками.

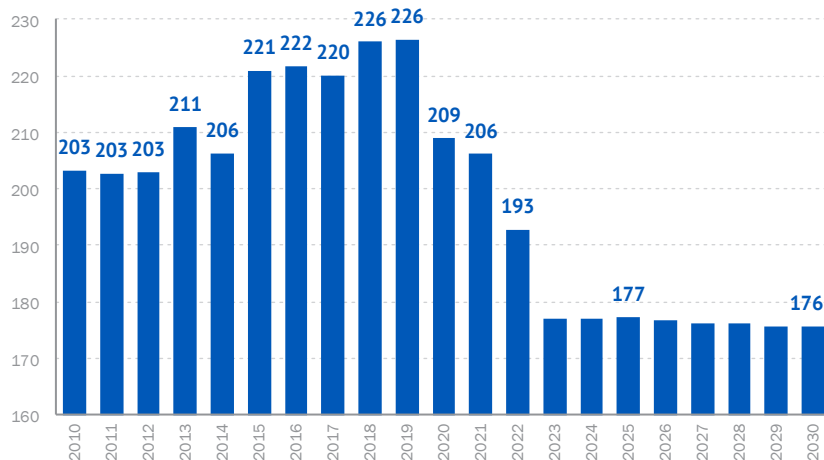
Для России с её опорой на традиционные конкурентные преимущества такая ситуация в лучшем случае приведёт к потере доходов в силу необходимости конкурировать с дешёвым трудом, в худшем – к потере рынков.

### Сильные стороны российского научно-технического комплекса

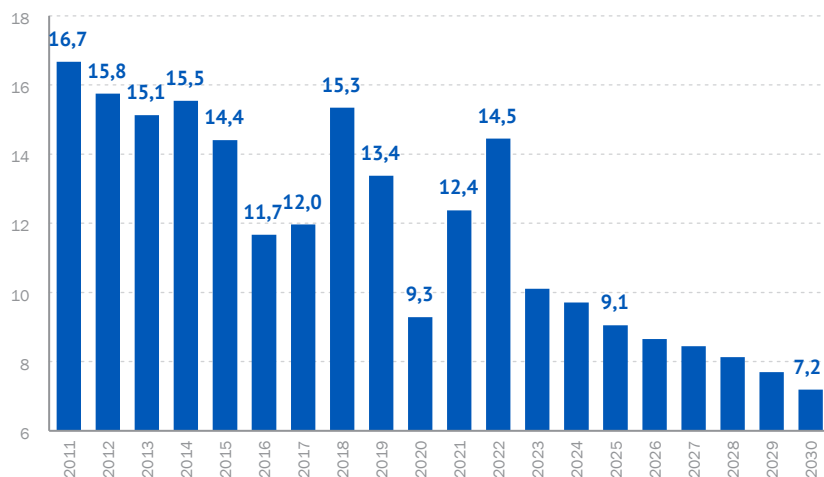
Прежде всего это большие масштабы. Страна имеет одни из крупнейших в мире расходов на НИОКР (примерно 42 млрд долларов по ППС, что немного больше уровня Италии). В нашей стране шестой в мире по численности исследователей сектор НИОКР – до 406 тыс. исследователей, что сопоставимо с уровнем таких стран, как Германия, Республика Корея, Великобритания и Франция.

### Рис. 5. Исчерпание нефтегазовой ренты

Экспорт нефти, газа, нефтепродуктов, млрд долл. В сопоставимых ценах 2019 г.



Экспорт нефти, газа, нефтепродуктов в текущих ценах, % к ВВП



Усиление энергоперехода в ЕС и Китае. В энергетике Китая – тройной переход:

- с завозного угля на уголь местной добычи (ради энергетической безопасности);
- с угля на газ (в интересах улучшения экологической ситуации в городах);
- с углеводородов на возобновляемые источники энергии и атом. Китай – крупнейший в мире производитель солнечных батарей и крупный участник рынка атомной энергетики. Требования по ESG для компаний, выходящих со своими акциями на гонконгскую биржу, выше, чем в Лондоне.

Россия располагает значительным набором уникального научно-экспериментального оборудования как для физического, так и для цифрового моделирования сложных технических и физических процессов.

По отдельным направлениям естественно-научных исследований (ядерная физика, математика и т. д.) наша страна имеет достаточно сильные позиции в мировой научной среде.

Российская Федерация занимает третье место в мире по подготовке аспирантов в сфере ИКТ, седьмое – по выпуску специалистов ИКТ с высшим образованием и десятое – по подготовке специалистов ИКТ со средним специальным образованием в процентах от совокупного выпуска получивших соответствующий уровень подготовки.

Россияне – весьма активные пользователи интернета для частных нужд (к примеру, мобильным ШПД пользуются более 100 абонентов на 100 человек населения).

### **Слабые стороны российского научно-технического комплекса**

В РФ чрезмерно широкий спектр исследований, низкая концентрация ресурсов, но в наиболее приоритетных направлениях. Заметна зависимость по ряду ключевых компетенций

от внешнего мира, особенно значительная в сфере электронной компонентной базы, химических реагентов и особо чистых веществ, прекурсоров для биохимических процессов, баз данных и алгоритмов инженерного назначения, отдельных узлов и агрегатов машин.

В условиях жёсткого геополитического противостояния наиболее высока значимость технологической безопасности как в оборонной сфере, так и в более широком, информационном аспекте (контроль баз данных, наличие собственного инженерного, геологоразведочного, биомедицинского программного обеспечения; биомедицина и т. д.).

Сфера проектной, прикладной науки и технологий государственных научных центров и госкорпораций – это реализация задач, ключевых с точки зрения государства.

Основная масса среднетехнологических компаний не находит нужных решений на внутреннем рынке. Соответственно, весь предкризисный период Россия активно импортировала результаты чужих НИОКР в составе импорта готовых товаров, то есть результаты расходов на НИОКР в других странах («импорт расходов» на НИОКР порядка 1–1,5% ВВП в год). Эти процент-полтора и есть масштаб спроса,

Табл. 6. Публикации российских авторов в Scopus в 2016–2020 годах

Область науки	Абсолютное количество публикаций российских авторов	Доля в общемировом количестве публикаций	Место России в мире
<b>Медико-социальные дисциплины</b>	<b>61 401</b>	<b>1,29%</b>	<b>23</b>
Медицина	52 926	1,31%	20
Сестринское дело	1 526	0,53%	37
Ветеринария	529	0,42%	48
Стоматология	190	0,20%	51
Медицинские специальности	4 945	2,45%	15
<b>Медико-биологические науки:</b>	<b>69 257</b>	<b>1,95%</b>	<b>16</b>
Сельскохозяйственные и биологические науки	27 138	2,20%	14
Биохимия, генетика и молекулярная биология	34 860	1,95%	16
Иммунология и микробиология	8 149	н. д.	18
Нейронауки	4 618	1,16%	23
Фармакология, токсикология и фармацевтика	8 286	1,62%	17
<b>Все естественные науки</b>	<b>37 6377</b>	<b>4,41%</b>	<b>7</b>
Химические технологии	24 631	3,07%	10
<b>Химия</b>	<b>58 011</b>	<b>4,25%</b>	<b>7</b>
Компьютерные науки	58 120	2,69%	11
<b>Науки о Земле</b>	<b>54 238</b>	<b>6,97%</b>	<b>5</b>
Энергетика	30 224	4,03%	6
<b>Инженерные науки</b>	<b>116 435</b>	<b>3,47%</b>	<b>7</b>
Охрана окружающей среды	37 936	3,57%	10
<b>Материаловедение</b>	<b>95 284</b>	<b>5,44%</b>	<b>5</b>
Математика	54 618	4,53%	7
<b>Физика и астрономия</b>	<b>139 461</b>	<b>7,47%</b>	<b>4</b>
<b>Все социальные науки</b>	<b>69 333</b>	<b>2,42%</b>	<b>12</b>
<b>Искусство и гуманитарные науки</b>	<b>21 691</b>	<b>2,93%</b>	<b>9</b>
Бизнес, менеджмент и бухгалтерское дело	12 127	2,46%	13
<b>Наука о принятии решений</b>	<b>10 238</b>	<b>3,53%</b>	<b>8</b>
Экономика, эконометрика и финансы	11 254	3,36%	10
Психология	4 255	1,07%	22
Социальные науки	41 205	2,52%	12



Рис. 6. Расходы государства на исследования и разработки, млрд долл. по ППС, 2018 год

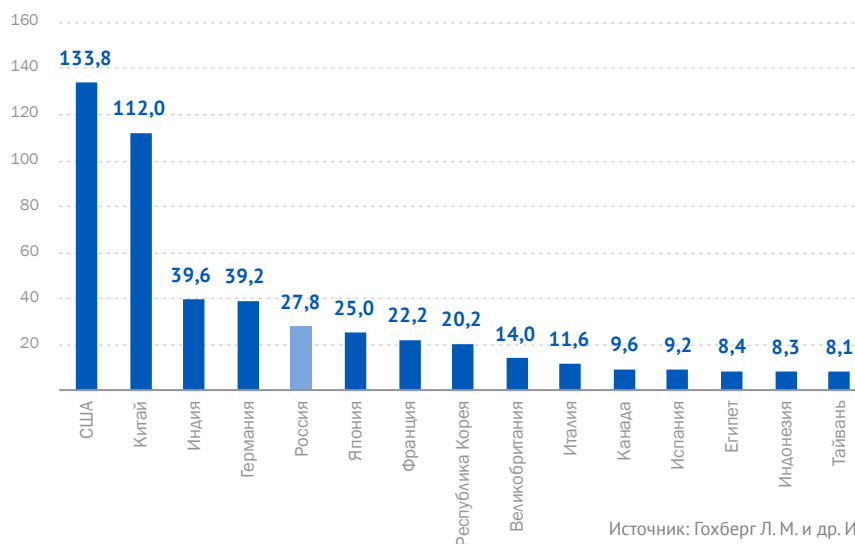


Рис. 7. Расходы государства на исследования и разработки, млрд долл. по ППС, 2018 год



не нашего удовлетворения внутри, то есть не потраченные в стране расходы на НИОКР.

## Неадекватная структура научно-технологического сектора

Его особенность – система частичной глобализации в сфере технологического развития и науки (публикация в «хорошем» журнале как критерий успеха, участие в глобальной научной коллаборации). Часть высокотехнологичной занятости вынесена за пределы российской юрисдикции, будучи важным элементом глобальной производственной сети в секторах информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), инжиниринга, финансов.

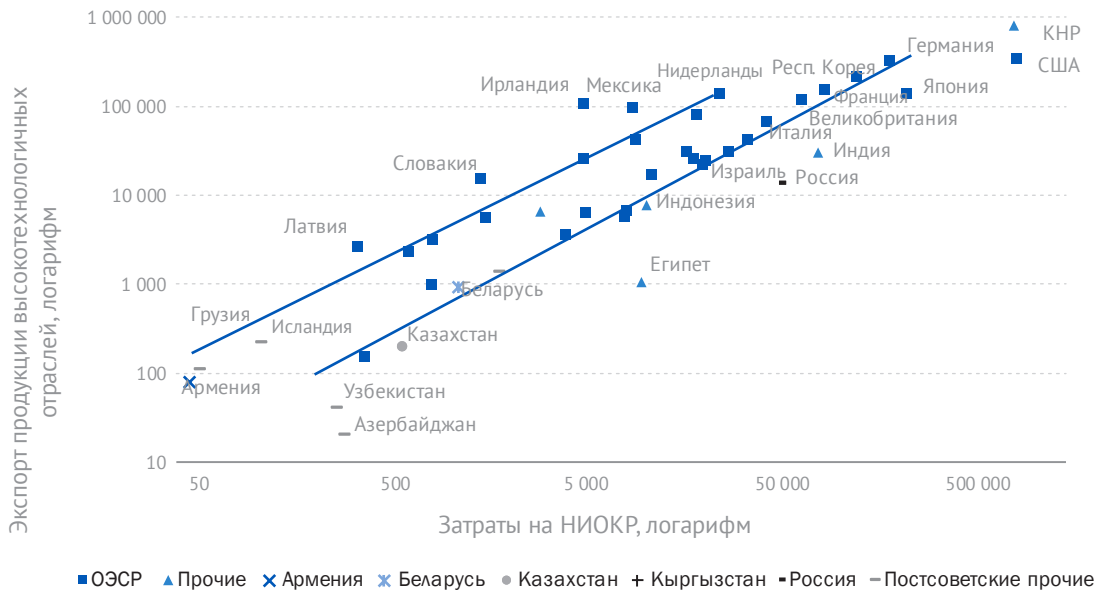
Отрасль ИКТ, особенно в части создания программного продукта, обработки данных и т. п., являлась глобализированной в высшей степени. Она открыта вовне и технологически (средства разработки и отладки программ, базы данных), и по бизнес-моделям с огромной значимостью «офшорного» программирования и трансграничной оплаты за созданный продукт, и социокультурно (ИТ-сообщества во многих случаях подчеркнута наднациональны).

В результате низкая концентрация ресурсов ведёт к малой эффективности российского высокотехнологического сектора. В итоге значительные (на уровне европейских стран) расходы на НИОКР крайне слабо трансформируются в рост высокотехнологичного экспорта, поступления с рынка технологий и т. д.

Это в свою очередь способствует превращению нашей национальной инновационной системы в разомкнутую, когда российские расходы на НИОКР раньше работали на конкурентоспособность других экономик.

**Сейчас возможности наращивать финансирование технологий ради технологий** исчерпаны. Дальнейший фронтальный рост финансирования науки и технологий нереален из-за бюджетных ограничений, причём в перспективе, по мере исчерпания сырьевой ренты, ситуация будет лишь усугубляться. Фронтальный рост ведёт к потере приоритизации, а значит и крайне низкой концентрации ресурсов на действительно приоритетных и востребованных направлениях. Простое наращивание финансирования науки и технологий без выстраивания соответствующей организационной схемы почти бессмысленно. Оно лишь будет воспроизводить сложившуюся ситуацию и увеличивать отмеченные разрывы. Мы ещё больше будем экспортировать научные заделы, ещё сильнее нарастим разрыв между передовой академической наукой, технологиями, созданными

**Рис. 8. Экспорт продукции высокотехнологичных отраслей и вооружений в зависимости от затрат на НИОКР (млрд долл. по ППС)**



**Рис. 9. В России сложилась модель разомкнутой ИС**



государственными научными центрами (ГНЦ), и реальным спросом. Наука будет наращивать инерционное следование глобальной повестке, научные центры создадут технологии, необходимые государству, но не имеющие спроса в массовом бизнесе, новые технологические компании нарастят отрыв от основной массы бизнеса. В условиях жёсткого противостояния с группой стран – технологических лидеров это опасно, так как в этой конструкции мы будем питать технологиями экономики страны-противники.

## Новая модель НТР

Модель научно-технической революции (НТР) в России в последние 30 лет подразумевала импорт технологий и оборудования за счёт доходов от экспорта. Сегодня такой подход невозможен. В связи с этим назрела необходимость принятия новой модели НТР. Она характеризуется следующими особенностями:

- реализация собственных линий разработок;
- опора на внутренний рынок + экспорт (по возможности);
- кооперация с дружественными странами;
- рациональный выбор приоритетов;
- учёт экономического и социального ландшафтов.

Предположительно, новая модель технологического развития России будет базироваться на реализации собственных

линий разработок, на первом этапе максимально независимых от импорта, но с последующим расширением на их базе кооперации с разработчиками и производителями из дружественных стран в рамках объединения взаимно дополняющих компетенций.

Именно результаты этих разработок, включая кооперационные, на горизонте 2040 года должны обеспечить и наполнение значительной части внутреннего российского рынка в новых поколениях технологических систем, и технологический экспорт (скорее, реализацию совместных проектов по взаимному освоению рынков). На основе этих же линий должна быть обеспечена часть технологической базы удержания военно-технического паритета с недружественными блоками.

Длительность переходного периода будет существенно зависеть от принимаемых государством стратегий как в научно-технологической сфере, так и в смежных. Эффективность таких стратегий в существенной мере зависит от рационального выбора акцентов использования имеющихся ресурсов.

Как и во всем мире, важной особенностью российского технологического, экономического и социального ландшафтов является «векторная» неравномерность: технологические уровни предприятий и организаций в разных и даже в одной отрасли; региональный разброс уровней благосостояния и реальной занятости; неравенство

различных социальных групп. Акценты в поддержке развития тех или иных технологических трендов, особенности механизмов поддержки могут как сглаживать, так и усугублять указанные неравномерности, в том числе доводя их до опасных пределов социальных и территориальных конфликтов.

Одна из стратегических задач развития в новых условиях – создание новых центров получения ренты, в том числе технологической, которые должны заменять иссякающую энергосырьевую ренту, либо достаточно мощной и эффективной обычной экономики с высокомаржинальными секторами.

Соответственно, оба эти варианта предполагают значительное обновление производственного аппарата и создание новых секторов экономики. Очевидно, что необходимы масштабная модернизация основных отраслей (как средне-, так и высокотехнологичных) и создание новых на лишь формирующихся рынках, в том числе рынках НТИ.

С учётом отечественных геополитических реалий и особенностей развития России возможен выбор акцентов в части формирования собственных линий разработки на отдельных технологических трендах, ранжируя их для выполнения по значимости. Это, например:

- создание новых производств и комплексная модернизация существующих, обеспечивающих условия для устойчивого с учётом требований экономической и общей безопасности

роста и развития страны в долгосрочной перспективе;

- устранение опасного социального и территориального неравенства (отметим, что, будучи одним из мировых лидеров по подготовке специалистов ИКТ, Россия существенно отстаёт от лидеров по уровню цифровых навыков населения страны в целом);
- обеспечение условий жизни и привлекательной перспективы для населения, в том числе в сопоставлении в развитыми странами;
- поддержание военно-технического паритета.

При таком подходе приоритет получают технологи, требующие создания распределённых по стране высококвалифицированных и высокооплачиваемых рабочих мест, обеспечивающих замещение импорта на долгосрочную перспективу, и важные для альтернативных применений.

В организационном смысле необходимо создать комплексную, сквозную систему стратегического прогнозирования и управления научно-технологическим развитием, способную преодолевать отмеченные выше разрывы.

**Первая модернизация касается науки и воспроизводства научных заделов.** Фундаментальная, академическая наука ориентирована, во-первых, на работу по международной повестке дня и на международную коллаборацию с критерием успешности в виде участия в международных проектах

**В организационном смысле необходимо создать комплексную, сквозную систему стратегического прогнозирования и управления научно-технологическим развитием, способную преодолевать отмеченные выше разрывы.**

и публикации в рейтинговых журналах, о чём учёные регулярно сообщают руководству Академии наук, а во-вторых, на поддержание комфорта давно сложившихся коллективов в рамках традиционной научной специализации, согласно планам РАН.

Лишь частично результаты академической науки конвертируются во – то осязаемое, главным образом в реализацию больших проектов в сфере ответственности государства. При этом академическая наука слабо связана со спросом на технологические инновации со стороны основной массы производителей и ещё хуже – со стороны нового технологического бизнеса.

Развитие большой, академической науки может происходить на базе стратегического прогноза как Российской Федерации, определяющей долгосрочные



вызовы для её развития, так и набора сформулированных больших вызовов в сфере самой науки, определяющих собственную позицию её воззрений в глобальном процессе познания, что и позволит говорить о научном суверенитете. К числу таких вызовов могут быть отнесены:

- вызов пространства (исследование фундаментальных свойств пространства и времени, дальнего космоса, Мирового океана);
- вызов творения нового (исследование возможности создания развитого искусственного интеллекта, возможность создания искусственной жизни);
- вызов материи и энергии (исследование фундаментальных свойств вещества и энергии, создание «умных» и природоподобных материалов);
- вызов жизни (выявление свойств живого, борьба с болезнями, выявление возможности терапии/предотвращения наследственных заболеваний);
- вызов разума (изучение механизмов сознания, выявление возможности создания полноценного интерфейса человек – компьютер).

Разумеется, список не покрывает и не может покрывать больших вызовов, потому что здесь важнее сама их идея для познания предельного, экзистенциального характера.

Дополнительные направления постановки задач для большой науки – это:

- спрос со стороны стран – стратегических партнёров России;
- запрос на решение фундаментальных

задач со стороны государственных научных центров.

Мероприятия по общему обеспечению развития большой, академической науки могут включать в себя:

- формирование цифровых коллабораций российских научных коллективов с дружественными/нейтральными странами и международными организациями как инструмент получения доступа к глобальному научно-технологическому пространству;
- программы подготовки и переподготовки научных кадров в соответствии с требованиями цифровой эпохи;
- модернизацию материальной базы науки.

**Вторая модернизация заключается в реализации прорывных проектов в сфере ответственности государства**, в сфере проектной (в основном прикладной) науки и технологий государственных научных центров и госкорпораций. Эта сфера ориентирована на реализацию задач, ключевых с точки зрения государства. Она дала стране гиперзвук, вакцину и в перспективе лекарство от Covid-19 и т. п.

Развитие большой прикладной науки может происходить на основе:

- решения сложных научно-технологических задач, в том числе связанных с выполнением НИР и отчасти ОКР в рамках гособоронзаказа, здравоохранения, обеспечения устойчивости функционирования инфраструктур, комплексной цифровизации инсти-

тутов государственной власти и т. д., лежащих в сфере непосредственной ответственности государства;

- спроса на научно-технологические решения со стороны государственных компаний в рамках их программ инновационного развития (ПИР) с максимальной переориентацией на технологическое импортозамещение;
- спроса на новые технологические решения в интересах технологической модернизации массовых среднетехнологических отраслей и новых технологических компаний.

Мероприятия по общему обеспечению развития прикладной «науки ГНЦ» могут в свою очередь включать:

- интеграцию прикладной науки и высшего образования;
- модернизацию ПИР госкомпаний;
- упрощение доступа компаний к результатам НИР ГНЦ;
- упрощение привлечения частных технологических компаний к решению государственных задач, включая оборонные, с учётом требований секретности.

**Третья модернизация касается массовых (среднетехнологических) отраслей и предполагает фокусировку прикладной науки на удовлетворение спроса конкретных компаний и формирование такого спроса по результатам технологического форсайта.** Основная масса среднетехнологических компаний, будучи отрезанными от нашей передовой науки, не находит нужных решений

на внутреннем рынке отраслей и технологий и финансирует развитие за счёт импорта готовых «коробочных решений». Таким образом, экономика России, являясь на самом деле инновационно активной, инновационные решения «коробочно» импортирует, что и финансирует «чужую» науку.

Таким образом, развитие отраслевой науки в интересах технологической модернизации массовых отраслей неизбежно и самым тесным образом связано с собственно технологической модернизацией этих отраслей, в том числе на базе технических решений, созданных государственными научными центрами. Важнейшей технологией «сборки» отраслевой науки и компаний является научно-технологический форсайт, выявляющий реальные технологические приоритеты компаний и формирующий систему их связей с научными организациями, включая ГНЦ.

Основаниями для такой технологической модернизации могут стать:

- прогнозная оценка долгосрочных перспектив и специфических ограничений развития отдельных рынков, отраслей и технологий;
- прогноз макроэкономического и структурного эффекта от развития и внедрения отобранных участниками форсайта приоритетных для них технологий;
- меры по опережающему технологическому регулированию, принуждающие компании к ускоренной модернизации.

Необходимо отметить, что обязательным условием для технологической модернизации массовых отраслей является обеспечение профессиональной и территориальной мобильности занятых, что в свою очередь предполагает создание адекватной системы профессиональной подготовки и переподготовки кадров в массовых отраслях, включая среднетехнологические.

Наконец **четвёртая модернизация** – это развитие новых технологий, новых бизнесов и соответствующих экосистем, в том числе лежащих за периметром технологического мейнстрима.

«Новые технологические компании» (Yandex, Cognitive Pilot, компании НТИ) капитализируют технологии, полученные по импорту, и результаты собственных исследований и разработок. Эти компании очень активны на внутреннем и внешнем рынках и свои исследования стараются вести сами, никому их не показывая и предъявляя вовне только собственные коробочные технологические решения. При этом они очень слабо связаны с официальной наукой в России и недостаточно – со среднетехнологическими компаниями. Неоднократно было отмечено, с какими трудностями сталкивается организация передачи (даже при взаимном желании) технологических наработок между гражданской государственной корпорацией и гражданскими частными высокотехнологическими компаниями, потому что возникает вопрос корпоративных стандартов, возможной секретности в случае развития проекта и т. п.



Необходимо подчеркнуть, что отчасти система поддержки таких компаний уже создана, хотя и очень нуждается в дальнейшем масштабировании и развитии.

Задачи для них должны формироваться в том числе в рамках форсайт-процедур, встроенных в процесс модернизации среднетехнологических компаний. Постановка таких задач как минимум отрабатывается в рамках реализации национальной технологической инициативы и деятельности институтов развития, ориентированных на поддержку развития технологий. Самостоятельной задачей становится реализация

проектов по выращиванию «национальных отраслевых чемпионов», ориентированных на рынки индустриализующихся стран (АТР, страны Ближнего и Среднего Востока).

Дополнительные меры по обеспечению ускоренного развития таких компаний могут включать, в частности, создание «сквозных» технологий под задачи новых технологических компаний, соответствующих инфраструктур, библиотек и баз данных, а также поддержку соответствующих добровольных профессиональных сообществ, в том числе сетевых, и меры по стимулированию добровольного образования взрослых.

**Опора на средние технологические компании.** Традиционно сложилось, что в России доля средних компаний невелика. Суммарно они приносят от 800 млн до 2 млрд рублей выручки в год. По мировым меркам это очень низкая планка. Из-за такой заниженной возможности относительно небольшие компании в России оказываются за рамками мер поддержки. Возникает вопрос: зачем они вообще нужны?

Ответов несколько:

- 1) крупный бизнес вырастает из среднего;
- 2) гибкость в сочетании с устойчивостью. Средние компании

дают больше гарантий отдачи на инвестиции и господдержку, чем малые. При этом средний бизнес в отличие от стартапов может вкладывать собственные средства, у него есть осмысленная стратегия, зрелое управление, пройдена «долина смерти». С другой стороны, у такого бизнеса больше инновационности, чем у крупного, и в нём больше чисто технологических компаний;

- 3) средний бизнес более интересен как объект для поглощений, поскольку у корпораций со стартапами слишком велика разница корпоративных культур,

и при этом издержки на поглощение могут превысить эффект. Главное – избегать недружественных поглощений, поскольку они приводят к смене менеджмента и затуханию бизнеса;

- 4) средний бизнес способен породить малые спин-оффы.

Исходя из этого средние технологические компании критичны для будущего. Дело в том, что крупный бизнес не сможет заполнить все ниши, а малому бизнесу они будут не под силу. Нужен крепкий середняк как важная часть инновационных экосистем. К тому же у средних компаний наибольший потенциал развития технологического экспорта.

Возникает вопрос: что государству делать со средним технологическим бизнесом?

Ответы:

- 1) задавать приоритеты научно-технологического развития;
- 2) разделять риски НИОКР;
- 3) встраивать в цепочки крупного бизнеса, включая госкомпании, государственные научные центры (ГНЦ) и крупные государственные проекты;
- 4) помогать выходить на зарубежные рынки, доращивая до «национальных чемпионов».

Для развития среднего технологического бизнеса необходимы меры как финансового, так и нефинансового характера. Финансовые меры следующие:

- 1) государство должно делить риски на ранних стадиях и выделять гранты на НИОКР;
- 2) у среднего бизнеса всегда дефицит оборотного капитала, особенно на рынках без предоплаты (крупный бизнес, b2g). Есть кредиты под 3%, но только для МСП до 2 млрд рублей и, соответственно, нужны льготные кредиты;
- 3) нужны инвестиции, в том числе от институтов развития, но без вмешательства в управление. Выход на биржу планирует только каждый десятый, однако государство может дать стимулы.

Нефинансовые меры включают:

- 1) расширение определения среднего бизнеса для его соответствия мерам поддержки;
- 2) выстраивание партнёрства, потому что средний бизнес порой плохо понимает потребности крупного;
- 3) разработку механизмов гарантии спроса (офсетные договоры, договоры будущей вещи);
- 4) создание софт-поддержки для инновационных «газелей», включая консалтинг, информацию, обучение, GR (Government Relations – вы-

страивание отношений между частными и государственными структурами);

5) поддержку выхода средних технологических компаний на рынки дружественных стран;

6) повышение значимости роли объединений (важен GR). Есть отраслевые ассоциации, в том числе успешные, и нужно дальнейшее их развитие. Роль ассоциаций особенно важна на новых рынках.

В конечном итоге дилемма проста: либо нам удастся увеличить финансирование НИОКР компаниям в разы, либо у нас эта сфера рано или поздно начнёт сужаться и, соответственно,

произойдёт негативное стягивание удельных параметров финансирования к мировому уровню стран-аутсайдеров, в том числе и за счёт отъезда учёных за рубеж.

**Рис. 10. Что надо было сделать? Преодоление разрывов в воспроизводстве**



# Обеспечивающий контур: некоторые соображения

## Новые технологические инфраструктуры

Развитие новых бизнесов на основе обсуждаемых выше технологий потребует развития целого пакета новых инфраструктур, которые станут основой новой экономики и общественно-политического мироустройства.

Новому технологическому укладу понадобятся новые инфраструктуры, которые могут (и должны) стать основой нового российского экспортного предложения.

Развитие новых бизнесов на основе обсуждаемых выше технологий подразумевает создание целого пакета новых инфраструктур, которые станут основой новой экономики и общественно-политического мироустройства. Рассмотрим эти структуры более внимательно.

Материальные инфраструктуры:

- 1) энергетические инфраструктуры. Под новые источники энергии России отводится роль, связанная в первую очередь с атомной генерацией и инфраструктурой обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ);
- 2) инфраструктура связи – 6G и др.;
- 3) системы хранения и обработки

данных;

- 4) инфраструктура управления беспилотными транспортными средствами (мониторинг, контроль управления, предупреждения столкновений), а также страхование и другие сопутствующие сервисы;
- 5) глобальные логистические инфраструктуры, включая «последнюю милю» и системы доставки товаров, требующих особых условий хранения (продукты питания, лекарства, алкоголь, легальное оружие и др.);
- 6) глобальные инфраструктуры точного позиционирования.

Цифровые инфраструктуры – это:

- 1) интегрированные коммуникационные платформы (социальные сети, мессенджеры, видеохостинги, досуговые и игровые платформы, метавселенные и др.);
- 2) системы поиска и подтверждения достоверности информации в цифровом мире;
- 3) системы учёта и подтверждения прав собственности и иных статусов;
- 4) инфраструктуры контроля авторских прав и перехода прав на цифровые активы (выводит сделки из британского права);
- 5) системы идентификации людей, материальных и цифровых объектов;
- 6) системы прослеживаемости товаров, сырья;

- 7) системы сбора и анализа персональных медицинских данных;
- 8) системы защиты информации и защищённых систем передачи;
- 9) системы картографии и создания доверенных геоподоснов;
- 10) системы цифрового государства (глобальные госуслуги).

Финансовые инфраструктуры – это:

- 1) платёжные системы, обеспечивающие сделки с цифровыми активами, автоматические сделки, сделки (массовые) со сверхмалыми суммами;
- 2) системы страхования и пр.;
- 3) системы обращения капитала, в том числе обеспечивающие IPO, ICO, SPO и др.

## Венчурный капитал

Очевидно, что, несмотря на условия санкций со стороны стран Запада, в России невозможно построение современной технологической экономики без порядкового роста венчурной индустрии. Используя лишь 5% активов негосударственных пенсионных фондов, можно увеличить объём венчурного капитала на 200 млрд рублей.

На сегодняшний день достигнутого уровня поддержки и её эффективности недостаточно, чтобы придать необходимый импульс техно-

логическому и экономическому развитию России. К сожалению, отсутствие достаточного финансирования роста и поддержки продвижения на экспортных рынках – одна из главных причин массового оттока предпринимателей и технологий. Вот почему построение венчурной индустрии должно быть высокоуровневой стратегией на уровне государства, а не низкоранговым ведомственным мероприятием.

Стимулирование частного капитала возможно только при опережающем инвестировании государственного, чтобы прежде всего сформировать уверенность в возможностях роста проинвестированных компаний.

Для развития данной сферы требуются следующие факторы:

- развитие биржевого инвестирования;
- либерализация альтернативных инвестиций для государственных и корпоративных средств;
- либерализация интеллектуальной собственности, полученной за счёт бюджета;
- развитие предпринимательства;
- формирование масштабных и эффективных мер поддержки экспорта технологической продукции.

## Технологизация суверенитета страны: мы для других

Развитие технологий в Российской Федерации может позволить сделать ставку на позицию одного из сублидеров технологического развития для ряда развивающихся стран и стран-партнёров. По сути, речь идёт о такой большой идее, как «технологический антиколониализм». Она подразумевает, что все люди на планете равны, а значит, прав на узурпацию технологической и институциональной ренты ни у кого нет.

Имеется и сверхбольшая идея – за счёт «заземления» высоких технологий снять давние противоречия между эксплуатацией природы и её консервацией через управляемое мягкое природо-преобразование (ср. «Якутский плейсто-ценовый эксперимент» С. А. Зимова).

Одним из направлений в рамках данной идеи может стать соразвитие науки – объединяющая компетенции российских и зарубежных исследователей организация цифровых коллабораций, в том числе в юрисдикциях дружественных стран. Развитию подобных взаимоотношений будет способствовать недискриминационный доступ стран-партнёров к технологическим достижениям России – услугам космической связи, базам данных для разработки лекарств и вакцин и т. д. Одним из условий может стать гарантия отсутствия

контроля за функционированием сложных технических изделий и платформ.

Наша страна может приступить к выращиванию отраслевых «национальных чемпионов», ориентированных на предоставление альтернативных и независимых от стран-лидеров технологических решений, прежде всего в сфере производственных и пользовательских платформ. Также необходима капитализация системы естественно-технического образования за счёт привлечения студентов из развивающихся стран.

Следующий шаг – поставка технологически промежуточных решений в энергетике, включая атомную, в авиации (в перспективе беспилотной), биологии и медицине (см. «Спутник V») и в космосе (см. «Спутникс»).

Реализация этой идеи может дать новый толчок известной философии «развитие как ценность» (линия Циолковского – Королёва – Маска), которая станет противовесом западным нарративам новой бюрократии и биополитики, то есть поспособствует развитию для всех жителей Земли, а не только для «клуба богатых».



## Подводя итоги, хочется подчеркнуть необходимость достижения нашей страной научно-технологического лидерства с ориентацией на новую экономику.

Подводя итоги, хочется подчеркнуть необходимость достижения нашей страной научно-технологического лидерства с ориентацией на новую экономику. Для этого требуется реализация таких макроэкономических и технологических задач, как:

- формирование и удержание технологического лидерства в отдельных сферах (как в традиционных – в атомной энергетике, военном авиастроении и т. д., так и в новых);
- формирование собственного центра силы на базе существующих и вновь формируемых компетенций;
- собственная технологическая повестка дня как одна из определяющих частей глобальной;
- осуществление международных научно-технологических проектов с дружественными странами с российской интеграцией (по сути, научно-технологический антиколониализм).

Кроме того, в сфере стратегического управления необходимо выдержать двойной баланс, который включает технологический прорыв и создание новых производств и рынков, диффузию улучшающихся техно-

логий, поддержку инновационной активности, модернизацию массовых производств; а также реализацию передовых проектов, создание экосистем и институтов, обеспечивающих воспроизводство технологических ресурсов и компетенций.

Приложение  
к докладу



# Технологии

## Глобальные технологические тренды 2022–2040 годов (часть 2)

Сценарная прогнозная оценка к 2040 году по ключевым направлениям развития технологий (ключевые тезисы)



## Автор доклада

---



### **Д. Р. Белоусов**

Руководитель направления анализа  
и прогнозирования макроэкономических  
процессов Центра макроэкономического анализа  
и краткосрочного прогнозирования (ЦМАКП)

## **Основные тренды до 2040 года по ключевым технологическим сферам в контексте глобальной ситуации**

События последних пяти-восьми лет стали серьёзным вызовом как для мировой, так и для российской экономики. Они привели к развитию новых тенденций, прежде не учитываемых политиками и экономистами. Если перенаселённость Земли, продовольственные и экономические кризисы были ожидаемы, то многие из трендов оставались без прогнозов.

Между тем всё большее влияние на процесс научно-технической революции (НТР) оказывают геополитические процессы, развивающиеся в рамках противостояния стран и транснациональных корпораций, уже владеющих ключевыми компетенциями и базовыми технологиями в ряде областей (в первую очередь в микроэлектронике), что и определяет уровень технологического развития и конкурентоспособность всех остальных отраслей экономики.

Происходит процесс концентрации там финансовых и научно-технических ресурсов, что даёт возможность небольшой группе стран и крупным корпорациям сосредоточиться на финансировании передовых биотехнологий и разработке цифровых методов.

В 2020 году на фоне мирового кризиса в экосистеме цифровых платформ по всему миру произошёл массовый приток ранее закрытых личных данных граждан. Это придало новый мощный импульс развитию всей мировой цифровой экосистемы, базирующейся на технологиях искусственного интеллекта (ИИ). Наиболее перспективные интегрированные информационные ресурсы (ИиР) в сфере цифровизации и биотехнологий становятся всё более дорогими, и даже крупнейшие ТНК не могут полностью покрывать затраты на них из собственной прибыли.

Нарастает процесс конвергенции информационных, логистических и производственных технологий. Вплоть



**В 2020 году на фоне мирового кризиса в экосистеме цифровых платформ по всему миру произошёл массовый приток ранее закрытых личных данных граждан. Это придало новый мощный импульс развитию всей мировой цифровой экосистемы, базирующейся на технологиях искусственного интеллекта.**

---

до ковидной и санкционной фрагментаций рынков формировалось единое глобальное пространство кооперации, шла адаптация технологий, намечалось преодоление противоречия между (массовым) автоматизированным производством и кастомизацией/индивидуализацией.

В итоге произошёл качественный переход, и возникли факторы, влияющие на долгосрочном прогнозном горизонте как на дальнейшее развитие человечества в целом, так и на развитие его ключевых технологий. Основные из них – возникновение конкуренции искусственных интеллектов как базового фактора конкурентоспособности, виртуализация контактов и деятельности, развитие беспилотного транспорта, в том числе в режиме «сетевых ТРАМПов», расширение сферы цифровых «новых денег», ведущее к перестройке системы расчётов и инвестиций.

Далее мы рассмотрим, каким образом эти перемены приводят к возникновению новых технологических трендов.

## Демография

Старение населения и дефицит трудовых ресурсов в развитых странах вызвали приоритетное развитие следующих направлений:

- робототехники, включая роботов, взаимодействующих с людьми;
- прямого взаимодействия человек – компьютер, базирующегося на нейротехнологии, дополненной реальности и человеко-машинном интерфейсе;

- технологий продления человеческой жизни и активной старости;
- адаптации высоких технологий для среднетехнологической сферы, что обеспечило качественно более высокую производительность труда.

Как результат, основными трендами развития стали трудозамещение, включая квалифицированный труд, и возникновение персонализированной экономики под потребности.

## Экология

Этот популярный тренд может привести к возникновению так называемой новой энергетики – технологии зеленого преобразования и накопления и высвобождения энергии. Это понятие, кроме того, включает в себя гибкое управление энергопотоками, технологии низкоэмиссионного сжигания углеводородов, локализации энергосистем, в том числе на базе возобновляемых источников энергии – ВИЭ и накопителей энергии, а также ядерные технологии (замыкание топливного цикла). В сфере экологии ожидается внедрение природо-подобных материалов.

## Космос

Ближний космос как стандартизированная инфраструктура. В долгосрочной перспективе это возможность выноса всё более критических звеньев в околоземное пространство (дата-центры,

Табл. 1. Соотношение больших трендов и ключевых факторов

	Демографический кризис/переход	ИТ-революция (шире – технологическая революция)	Экологические/углеводородные ограничения, энергопереход	Усиление глобальной конкуренции	«Новые деньги»
<b>Демографический кризис/переход</b>	Глобальный демографический переход. Быстрое старение населения	Трудозамещающие инновации. Технологические «слойки» «робот/человек/и», продление активной человеческой жизни.	Изменение рациона питания.	«Непрямые» и малолетние формы конфликтов	Кризис сбережений и его компенсация
<b>ИТ-революция (шире – технологическая революция)</b>	Третий демографический переход: высокотехнологическое одиночество отдельных индивидуумов. Усиление межпоколенческих и социальных конфликтов	«Технологическая сингулярность»: самообусловливание, развитие технологий, особенно ИКТ	Адаптивные энергосети. Замена экономики товаров и услуг экономикой (дистанционных) впечатлений	«Национализация» интернет-платформ. Конкуренция искусственных интеллектов	Прослеживаемые транзакции, «окрашенные» деньги, возможность целевой эмиссии
<b>Экологические/углеводородные ограничения, энергопереход</b>	Дополнительная нагрузка на деторождение. «Дети антиэкологичны»	Ограничения на развитие энергоёмких ИТ-технологий (суперсервера)	Формирование экологического дискурса: успешности экономик, значимость ресурсов и результатов	Использование экологических стандартов как механизма глобальной конкуренции	Формирование рынка «зелёных облигаций», замыкание циклов
<b>Усиление глобальной конкуренции</b>	Нарастание роли факторов качества жизни, продолжительности активной жизни, рождаемости в основных регионах. Миграция за качеством жизни	Конкуренция ИТ-платформ, стандартов. Формирование пакета минимально достаточных компетенций в ИТ в «центрах силы». Институционализация киберпротестов	Превращение экологических стандартов, квот, штрафов и т. п. в инструмент борьбы между глобальными игроками	Формирование и постепенная институционализация «центров силы», иерархических систем институтов	Формирование внутренних систем расчётов, включая криптовалютные
<b>«Новые деньги»</b>	Формирование адресных, «окрашенных» систем поддержки отдельных социальных групп	Самофинансирование ИТ-платформ. Система самовоспроизводства ИТ-сектора	Формирование «зелёной экономики», эмиссия под экологическую стабильность (а не рост рынков/экономики)	Конкуренция форматов эмиссии и использования «новых денег». Создание правил доступа к ним	Формирование новых денежных рынков (дополняющих по отношению к традиционным)

отдельные производства), энергетика, добыча отдельных видов полезных ископаемых. Неизбежен вывод на орбиту ударных средств, включая оружие направленной энергии.

### Геополитика и технологии: восхождение Востока

Длительное время (1870–2020 годы) страны Востока были выключены из глобального распределения «геополитических призов». Однако теперь при слабеющих старых гегемонах новые игроки получают пространство экспансии, требующее соответствующего силового обеспечения. Отсюда необходимость активной геополитики этих стран и, как следствие, спрос на технологии, связанные с армией, безопасностью, энергетикой, финансами и искусственным интеллектом.

В ближайшие годы следует ожидать возникновения новых центров развития на Ближнем и Среднем Востоке. Фактически таковыми уже стали Турция, Иран и Пакистан. Вскоре за ними последует и ряд других стран региона – Египет, Алжир, ОАЭ, возможно Саудовская Аравия.

Это связано с влиянием следующих факторов:

→ **демографический переход.** В странах Востока происходит второй демографический переход – рождаемость ещё высокая, но уже снижается, а смертность уже низкая, что даёт инвестиционный потенциал и рабочую силу.

Также там происходит активная урбанизация. Следующий шаг – стабилизация населения и рост спроса на городской тип жизни. Как следствие, возникает спрос на энергетические, экологические, трудосберегающие технологии (возможно, капиталоемкие), а также на технологии «нового продовольствия»;

→ **культурные основания.** В ряде исламских стран (во всяком случае в странах шиитского ислама) очень высокий статус приобретёт «познание Творца через Творение». Это может воспроизвести ситуацию европейского начала нового времени (ср. «наука – любимое дитя церкви»).

### Развитие и стабильность

Надежды на то, что XXI век станет столетием без катаклизмов, войн и конфликтов, не оправдались, в связи с чем постоянно растёт запрос на стабильность. Ей угрожают высокие риски развития: социальные (высвобождение занятых), давление на природу, «новая конфликтность». Препятствует стабильности и ряд негативных факторов, связанных с ухудшением демографического баланса и старением населения в развитых странах, что ведёт к размыванию конкурентных преимуществ и «новой ригидности».

Развитие характеризуется тем, что оно само создаёт противоречия и риски, само же снимает их, трансформируя себя и социальную среду и формируя

В контексте формирующегося полюса индустриализации и научно-технического прогресса на Ближнем Востоке (Иран, Турция, Египет, Алжир, Пакистан) следует обратить особое внимание на понятие иджтихада – возможности вольного толкования Корана. Эта практика была распространена в VII–XIII веках, однако впоследствии большинство сложившихся суннитских исламских религиозно-правовых школ (мазхабов) её запретили. Такое действие отражается в литературе как «закрытие врат иджтихада». Согласно многим исследованиям, именно оно привело к прекращению критического мышления и, как результат, к научному поиску в мусульманском мире.

При этом иджтихад продолжался в шиитском исламе, что во многом может служить объяснением текущих успехов Ирана в создании (не копировании!) новой техники и в продвижении научно-технического прогресса.

Также врата иджтихада не закрывались в ханбалитском мазхабе, самом малочисленном из суннит-

ских мазхабов, являющемся официальным в Саудовской Аравии, Катаре и эмиратах Шарджа и Рас-эль-Хайма в ОАЭ. Однако в ханбалитском мазхабе сохранение иджтихада имеет другую, консервативную, природу. Здесь мазхаб ориентирован именно на максимально буквальное следование Корану и Сунне, что не способствует техническому прогрессу, однако прямо и не запрещает его.

Россия имеет уникальный опыт появления религиозно-философской школы, сочетающей возможность технического прогресса и обновления с ханафитским мазхабом, формально запрещающим иджтихад. Это учение джадидов, сформировавшееся среди мусульман Российской империи, прежде всего в Крыму и Татарстане. Вырастая из необходимости осмысления пришедшего в Российскую империю технического прогресса, а также невозможности полноценного соблюдения Рамадана в летние месяцы в северных широтах, уникальная трактовка ислама позволяет фактически второе открытие врат иджтихада.

новые центры силы. Например, в Китае сегодня происходит так называемая индустриализация-3, которая базируется на выстраивании полноценной национальной инновационной системы, включающей такие приоритеты, как информационно-коммуникаци-

онные технологии (ИКТ), новая энергетика, робототехника, социальные методы. Развитие может помочь устранить многие противоречия текущего момента. А вот его остановка даже под этическими лозунгами приведёт к накоплению кризисного потенциала и коллапсу.

По социальным причинам, таким как старение населения и большие требования к социальному комфорту, технологическое развитие, скорее всего, трансформируется в направлении экологически нейтральных и природоподобных технологий, передачи «бремени решений» человеко-машинным системам.

Есть риск, что закрепление позиций старых игроков (прежде всего стран ЕС) будет идти через апелляцию к «высокотехнологичному неразвитию» через углеродные стандарты доступа на рынок, избыточные барьеры в части безопасности, этические требования к продукции, гуманитарно-социальные обременения для партнёров. По сути, это механизм извлечения институциональной ренты от накопленного потенциала развития.

Таким образом, выбор человечества состоит в том, пойдёт ли оно по пути глобальной бюрократизации и назначения доноров для экологически ответственных стран, либо начнёт новый технологический рывок.

### Технологии экологической стабильности и контроля

Необходимо отметить, что акцент на экологическое (низкоуглеродное) развитие, контроль развития экономики и общества также несут в себе технологическое содержание. В этом варианте приоритетным становится развитие таких технологий, как:

- собственно технологии возобновляемой энергетики, электро-транспорта, накопления энергии в энергосистемах;
- технологии атомной и термоядерной энергетики;
- экологический и энергетический аудит по технологическим цепочкам;
- управление энергопотоками в трансрегиональном масштабе (ср. «единая энергосистема») и энергосистемами, в том числе на основе искусственного интеллекта в масштабе поселений («умный город»);
- космический мониторинг выбросов с высоким разрешением, оценка эффектов углеродных выбросов;
- технологии, обеспечивающие прослеживаемость продукции в рамках логистических цепочек. Так, в подобных сценариях ожидается рестарт технологий распределённого реестра (блокчейна);
- становление низкоэмиссионного транспорта (электрические грузовые беспилотники, электрические самолёты) и т. п.;
- развитие атомной энергетики (замкнутый ядерный цикл), возможно с дополнительным термоядерным контуром, повышающим мощность;
- технологии рециклинга, создания максимально экологически и энергетически замкнутых поселений и производств, а также энергетического аудита;
- природоподобные технологии, технологии улучшения ландшафтов и экосистем, выступающие в роли флагманов в экологически ориентированных сценариях (здесь у России имеются значительные заделы).

## Демография как социальный фактор технологического торможения?

Уже сейчас в развитых странах происходит радикальное продление жизни в условиях демографического спада.

Из-за старения населения резко возрастают одновременно спрос на самые передовые технологии (ИИ, когнитивные способности, биомедицина, роботы) и ригидность (неспособность адаптироваться к новым условиям, идти на компромисс или менять свою систему взглядов и убеждений). В случае реализации «чёрных лебедей» очень высока уязвимость к общественным фобиям и паникам, что наглядно продемонстрировала история с появлением Covid-19.

Станет ли старение населения мощным стимулом к стагнации? Коснется ли продление жизни только элит, закрепив новое неравенство? Станет ли этот процесс стимулом для дальнейшего снижения рождаемости?

Если в период классической технологической революции мотивация к развитию была позитивной и означала «движение к фронтиру», то сегодня ведущие технологии воспринимаются с тревогой (биомедицина – страх старения и смерти, инфоком – цифровое одиночество, ИИ – бегство от бремени решения).

Ситуация напоминает период промышленной революции XIX века. И, как это было в начале машинной эпохи, сегодня кто-то должен дать ответ

на вопросы о месте человека в новом обществе, его взаимодействии с машинами, пришедшими ему на смену. Тот, кто его сделает, получит влияние, превосходящее роль марксистского дискурса в XXI веке.

## Риски и развилки глобального развития и их влияние на технологические тренды к 2040 году

Глобальными тенденциями последних лет стало накопление передовых технологий и запрос на их практическое использование в повседневной жизни большинства жителей планеты. В ближайшие годы это приведёт практически к гарантированному ускоренному развитию ряда технологических секторов. Многие из них могут стать весьма актуальными для нашей страны.

## Цифровая трансформация

Это направление характеризуется формированием «платформенной экономики» – превращением транснациональных компаний, контролирующих цифровые платформы, в центры капитализации и, главное, в хранителей массивов больших данных о поведении других субъектов экономики, о сделках и т. д. Это делает их реальными центрами экономической гегемонии в новой экономике. Стоит отметить, что цифровые платформы де-факто выполняют



Табл. 2. Воздействие технологических вызовов на отдельные аспекты долгосрочного прогноза

Технологический вызов	На какие сферы	Примечание
Развитый искусственный интеллект, управляющий процессами в сфере производства, управления (включая государственное и военное), массовой информации и взаимодействия с обществом	Экономика Общество	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Формирование новых сфер отчуждения труда</li> <li>• Степень развитости ИИ, как ключевой фактор конкурентоспособности</li> <li>• Цифровой луддизм</li> <li>• Формирование теневых рынков и сообществ, находящихся вне цифрового контроля</li> </ul>
Переход в элементной базе на мультипроцессорные системы под управлением ИИ	Климат Энергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Рост потребления энергии вычислительными комплексами и устройствами. Возникновение противоречия между развитием ИТ и «экологической» стабилизацией</li> </ul>
Экономика метавселенных	Экономика Общество Субъектность	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Новые, находящиеся вне сферы госрегулирования, циклы движения и воспроизводства капитала</li> <li>• Наличие глобального масштаба метавселенных как основной фактор трансляции глобального идеологического/смыслового послания</li> </ul>
Формирование с использованием ИИ индивидуально настроенного социального/информационного окружения	Общество	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Усиление социальной «гомофилии», рассыпание общества на однородные, но слабо коммуницирующие кластеры</li> <li>• «Парад цифровых идентичностей» и проблематизация целостностей</li> </ul>
Искусственная матка (маточный репликатор)	Общество	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Кризис института семьи. Возникновение дополнительных этических расколов в обществе</li> </ul>
Терапевтическое/нетерапевтическое редактирование генома человека. Радикальное продление продолжительности жизни	Общество	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Закрепление социального неравенства. Скорее всего, этически обусловленные ограничения; становление серых/черных рынков генной коррекции (аналогично рынку трансплантации)</li> </ul>
Техническая возможность киборгизации человека, нейроинтерфейсы. Нейролептики нового поколения, адаптирующие психику человека к прямому взаимодействию с цифровыми устройствами	Здоровье Общество	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возникновение новых факторов социального неравенства</li> <li>• Хакерство, как прямая угроза здоровью и благополучию. Психические заболевания</li> <li>• Этические ограничения, формирование чёрных рынков и схем обхода регулируемых рынков «расширения человека»</li> </ul>
Формирование постоянных поселений на Луне или на орбите. Милитаризация околоземной орбиты	Космос Субъектность	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Наличие постоянной позиции в космосе – ключевой фактор субъектности и обороноспособности в новых условиях</li> </ul>

функции государства по контролю за соблюдением правил, условий сделок и применению санкций к нарушителям.

Это может привести к следующим трансформациям промышленности и экономики:

1) минимизации транзакционных издержек, «уберизации» транспортно-логистических и иных вспомогательных услуг;

- 2) расширению возможностей выхода на рынки, включая глобальные, даже для малых и средних компаний. Преодоление «проклятия» привязки к традиционному поставщику узлов и агрегатов;
- 3) оптимизации технологических процессов – экономии материальных, энергетических, временных ресурсов;
- 4) возможности быстрой кастомизации продукции, в том числе в рам-

- ках массового автоматизированного производства;
- 5) формированию качественно новых рынков (например, рынка беспилотного транспорта);
- 6) созданию качественно новых материалов и веществ с заданными свойствами за счёт их цифрового проектирования;
- 7) изменение экологических характеристик производственных процессов и свойств конечной продукции;
- 8) переформатированию объёмов и структуры спроса на человеческий капитал.

Табл. 3. Горизонт-2040

Новая технология	«Закрываемые» технологии и виды деятельности
<b>Моделирование человеческого интеллекта, когнитивные модели сознания и поведения</b>	Широкий спектр «стандартизованного» анализа и прогнозирования в бизнесе (включая финансовые рынки), метеорологии, медицине (вплоть до «цифрового врача»), образовании («дистанционный учитель»), военном деле и т. д.
<b>Эволюция Интернета (семантический веб, «Интернет вещей»)</b>	Революция в интеллектуальной деятельности (семантический Интернет). Новые стандарты де-факто для потребительской и, возможно, инвестиционной продукции («Интернет вещей»), продукции военного назначения
<b>Радикальная трансформация рынков ИКТ в условиях смены технологий компонентной базы (прекращение действия закона Мура, развитие новых материалов, фотоники и др.). Создание прорывных квантовых технологий</b>	Устаревание и закрытие традиционных ИКТ; смена стандартов де-факто в сопряжённых отраслях
<b>Переход к персонализированной медицине, «медицине здоровья». Радикальное увеличение продолжительности жизни.</b>	Кризис традиционной массово-ориентированной медицины
<b>Управление когнитивными способностями человека</b>	Возможно распадение медицины на «старую» медицину для бедных и «новую» медицину для обеспеченных  Кризис традиционных бизнес-моделей, ориентированных на массовое производство лекарств
<b>Повышение экологических требований к производству, транспортным средствам, продуктам питания, потребительским товарам, зданиям и сооружениям, отходам. Ужесточение требований безопасности производственных процессов, транспорта, потребительских товаров, зданий и сооружений. Индивидуализация потребления</b>	Новые стандарты де-факто, делающие рынки закрытыми для традиционных товаров
<b>Технологии продвинутой 3D-печати</b>	Внутренний кризис трудоёмких среднетехнологических машиностроительных и металлообрабатывающих отраслей  Возникновение новых бизнес-моделей в высокотехнологичных отраслях (качественное расширение аутсорсинга, в том числе малых и средних компаний). Стимулирование переноса производства в развитые страны (нивелирование фактора низких издержек)
<b>Развитие новой энергетики, систем аккумулирования энергии, управления энергосетями</b>	Вытеснение с рынка углеводородов, дорогих по себестоимости добычи. Возникновение тренда к опережающему расширению рынка электромобилей и гибридов.
<b>Развитие роботизированных транспортных средств и вооружений</b>	Вытеснение с рынка оборудования, услуг и т. д., связанных с выполнением стандартизированных задач (на железной дороге и т. д.) . Сжатие ряда рынков традиционной военной техники и вооружений
<b>Развитие гибких роботизированных производств, позволяющих индивидуализировать выпуск массовой продукции</b>	Внутренний кризис ряда традиционных отраслей: сжатие традиционных трудоёмких производств (кандидаты в лидеры новой роботизации – автопром, возможно производство массовой потребительской электронной и электротехнической продукции). Расширение возможностей переноса производств

## Промышленные ИТ-платформы – риски глобальной монополии

При всех плюсах цифровой трансформации проблемой может стать ситуация, когда разработкой цифровых систем для промышленности будут заниматься либо ИТ-компании в партнёрстве с промышленным бизнесом, либо «промышленные» транснациональные корпорации (ТНК), в составе которых есть свои ИТ-подразделения или структуры.

В результате ТНК создадут такие платформы сами, а малый и средний бизнес будет пользоваться платформами от крупных ИТ-компаний или станет придатком крупных корпораций, их контролирующих. Это будет иметь ряд негативных последствий. Рассмотрим подробнее.

Весьма вероятно, что искусственный интеллект, используемый в материальном производстве, будет расположен в «облаке». Соответственно, оплата будет взиматься за доступ к «облаку» и все данные о производстве будут храниться там же.

Возможно переформатирование ТНК от прямого контроля над собственностью к контролю над используемыми платформами, которые будут иметь доступ ко всей информации о закупках, производстве, сбыте, кадрах и т. д., что повлечёт за собой разработку рекомендаций по кадровой политике, выбору «правильного» поставщика (экологичность, социальная ответственность и т. п.) и ряд других решений.

Вне управленческого контура одной ТНК платформа выступает гарантом соблюдения правил и условий сделок между пользователями, создавая новые типы транзакций и занимаясь институциональным проектированием. Платформа присваивает пользователям рейтинг, от которого зависит, например, место в поисковой выдаче, или даёт рекомендации по методам повышения показателей, например за открытость/доступ платформы к внутренним процессам компании. Таким образом, платформа может съесть значительную часть независимости организаций-пользователей. А изменить пользовательское соглашение с платформой для эксплуатантов порой сложнее, чем дополнить конституцию государства. Таким образом, если пользователям затруднительно проголосовать ногами, отказавшись от услуг, то платформа приобретает несопоставимую власть.

Уже сегодня санкции от Google и SWIFT могут быть опаснее государственных. Добавятся новые зависимости в рамках экономики пользования, например обновление ПО на гаджетах.

## Пятнадцать кризисных лет – концентрация рисков

На период 2030–2043 годов придётся наложение нескольких кризисов. Прежде всего речь о **геополитическом кризисе**, трансформирующем накопившуюся геополитическую напряжённость в формирование новых правил

Табл. 4. Таймлайн развёртывания основных технологических вызовов

	2023–2025	2025–2027	2027–2030	2030–2035	2034–2040	2040–2043	
Входящие тренды: общество, экономика, геозкономика	<ul style="list-style-type: none"> <li>Распространение конфликтности в мире</li> <li>Технологии как ключевой фактор противоборств</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Бум цифровых финансовых активов.</li> <li>Формирование правил их оборота. Бум денег метавселенных</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Эксперименты по децентрализованной цифровой эмиссии</li> <li><b>Вступление ряда стран в сжатие населения</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Завершение периода глобальной силовой перестройки мира</li> <li>Регionalизация, реглобализация</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Упорядочивание правил оборота ресурсов (включая цифровые) между центрами силы</li> <li>Возникновение переплетённых рынков: экологических, финансовых и цифровых активов и новых институтов</li> </ul>		
Климат	<ul style="list-style-type: none"> <li>Бум городского электро-транспорта в Китае, стандарт рынка</li> <li>Мода на рециклинг и экопотребление</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Бум личного электро-транспорта в Европе, стандарт рынка</li> <li>Усиление карбоновых ограничений</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Резкое усиление экологического и климатического регулирования. <b>«Война ESG-стандартов»</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Резкое падение спроса на топливо: запрет автобензина и ДТ в ЕС</li> <li>Энергетический аудит регионов как стандарт</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Технологии терраформирования как важнейший компонент потенциала стран и корпораций</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Наблюдаемые результаты климатического кризиса: адаптация и баланс результатов</b></li> </ul>	
ИТ, элементная база	<ul style="list-style-type: none"> <li>Достижение квантового предела размерности традиционных кремниевых чипов</li> <li>Бум мульти-процессорных устройств и специального ПО для управления ими</li> <li><b>Сети 5G/6G. Бум дронов</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ИИ как стандартный элемент производственных и транспортных систем</li> <li>Боевые действия, управляемые ИИ</li> <li>Демонстрация квантового превосходства на практических задачах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Передача ИИ ряда управленческих функций в государствах</li> <li>Собственные метавселенные, как основа «непрямой пропаганды» центров силы</li> <li>Успешно работающие фотонные компьютеры</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Распространение простого нейроинтерфейса</li> <li>Успешно работающие квантовые компьютеры</li> <li><b>«Интегрированная реальность»</b> – нельзя верифицировать «настоящую»</li> <li>«Интернет всего»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Продвинутый ИИ, неотличимый от человека в коммуникации.</b> Системы продвинутого ИИ, управляющие системами ИИ, решающими частные задачи. <b>Отказ от прослеживаемости ИИ</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Сложный нейроинтерфейс</b></li> <li>Распространение психохимии, упрощающей адаптацию человека к функционированию в цифровом мире</li> <li><b>Серые рынки нейропротезирования</b></li> </ul>	
Биотех Биоинфо	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Прослеживаемость «здорового» поведения индивида, его биобезопасности</b></li> <li>Телемедицина, ассистенты врача</li> <li>Скачок биоинформатики и геномики в интересах сельского хозяйства и медицины. Быстрое создание вакцин. Продовольствие, обеспечивающее профилактику заболеваний</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Бум трансплантации и (кибер) протезирования</li> <li><b>(Не)инвазивные устройства виртуальной/дополненной реальности, «ранний нейротех»</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>«Иммунные пандемии» как инструмент противодействия массовым инфекциям</li> <li>Первые биокомпьютеры.</li> <li><b>Выращивание органов</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Искусственная матка</b></li> <li><b>Распространение терапевтической коррекции генома</b></li> <li>Возникновение рынка сконструированных организмов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Распространение (квази-легальной) нетерапевтической коррекции генома</li> <li>Распространение «киберпсихических заболеваний»</li> </ul>	
Прочее	<ul style="list-style-type: none"> <li>Бум промышленной робототехники, в том числе, гибкой</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Вывод (в том числе частных) противокосмических средств в космос</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Бум дешёвой ядерной энергетики. Бум адаптивных сетей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Вывод ударных средств в космос. <b>Платформы, управляемые ИИ</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Коммерческий термояд</li> <li>Новый скачок развития электротранспорта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Постоянные поселения на Луне и на «тяжёлых ДЮС»</li> </ul>	
Выходящие тренды (общество)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Распространение удаленной и гибкой занятости. Кризис рынка труда и профсоюзов</li> <li>Космический аудит (использование ресурсов, выбросы)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Бум «цифровых субурбий» в 50–100 км поясе «нового освоения» вокруг мегаполисов.</li> <li>Скоростной транспорт и телеком повсеместно</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Автономные производства и транспорт, массовое высвобождение работников. ББД</b></li> <li>Распространение цифрового луддизма</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Формирование автономных поселений на базе ВИЭ и максимального замыкания цикла</li> <li>Поселения на океаническом дне</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Теневые рынки нетерапевтической коррекции генома</b></li> <li>Политизация проблем на стыке биомедицины, технологий и этики. «Сообщества отказа»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Кризис семьи и социальных ролей на Большом Западе. Кризис гуманизма</b></li> <li>Закрепление межцивилизационного раскола</li> </ul>	

оборота активов, в том числе новых цифровых и карбоновых. Как следствие, перераспределение ролей в глобальной экономике и наступление «периода сражающихся царств», достигающих целей как военными, так и косвенными путями.

**Климатический кризис** ожидается около 2040–2043 годов, когда прямо проявятся последствия экологического кризиса.

**ИКТ-кризис.** Развитие ИИ, свёртывание возможностей его прослеживаемости, рост значимости в самых различных сферах – всё это ведёт страны к тroyкому выбору:

- 1) отказаться от развития ИИ ценой соответствующих проблем с конкурентоспособностью и с национальной безопасностью;
- 2) отказаться от самой идеи прослеживаемости, передав соответствующую функцию самому искусственному интеллекту (например, по аналогии с известным ChatGPT);
- 3) пойти по пути «усовершенствования человека» с использованием нейроимплантов и нейролептиков с соответствующими шокowymi последствиями для обществ.

**Социоантропологический кризис.** Впервые за обозримый исторический период предельные риски для обществ создают такие факторы, как сочетание демографического сжатия в нескольких

ключевых странах и технологических изменений в области биотехнологий (возможность нетерапевтического совершенствования генома, создание искусственной матки и нейроимплантов). Следствием станут вероятные формальные запреты на создание масштабных теневого рынков в этой сфере (сегодня такое происходит с рынком трансплантации).

### Чёрные лебеди: стайный эффект

На 20-летнем горизонте сочетание общественного и инвестиционного энтузиазма, отсутствие сформировавшихся стандартов, в том числе тех, что связаны с контролем, и широкие сферы применения потенциально опасных технологий создают высокую вероятность возникновения тяжёлых техногенных шоков. Они могут привести к возникновению новых фобий, аналогичных тем, которые возникали в мировом сообществе после катастрофы дирижабля «Гинденбург» (1937 г.), использования лекарства «Талидомид» (1961 г.) и чернобыльской катастрофы (1986 г.).

Прилета «чёрных лебедей» можно ожидать в следующих сферах:

- **искусственный интеллект.** Волна создания и использования ИИ в различных сферах, включая жизненно важные, в сочетании с его быстрым усложнением и потерей прослеживаемости может привести к катастрофе в сфере жизнеобеспечения,

в энергетике, транспорте, безопасности и т. д., причём она может возникнуть внезапно не только для общества, но и для операторов и быть с трудом прослеживаемой даже задним числом. Точкой невозврата здесь может стать момент, когда искусственный интеллект будет обучен управлять целой их системой;

- **биотехнологии.** В последнее десятилетие стремительно расширяется число лабораторий, работающих с особо опасными возбудителями, и решаются всё более чувствительные задачи. В какой-то момент может произойти нарушение правил обращения с опасными биоматериалами, итогом чего станет вспышка опасных или даже неизвестных заболеваний;
- **электроэнергетика.** Спрос на электроэнергию постоянно возрастает, в систему включаются всё новые компоненты, критически зависящие от погодных условий и режимов эксплуатации. При этом управление становится всё более сложным, что может приводить к поломкам и сбоям.

## Изменение на рынке труда

Тенденцией стало постоянно нарастающее применение систем автоматического контроля и консультативной поддержки работников. С одной стороны, они контролируют действия исполнителя и выполнение технологического

процесса, с другой – системы могут инструктировать его о необходимых действиях.

Такие системы могут также управляться людьми, а те в свою очередь – подчиняться формам оценки со стороны искусственного интеллекта. Таким образом, возможно формирование многоуровневой системы управления с чередующимся контролем людей над машинами и машин над людьми. Как результат, произойдёт упрощение труда во многих профессиональных областях с соответствующим понижением требований к образованию и сокращению заработной платы.

## Кризис государства и общества?

Быстрое развитие «безлюдных» производственных технологий (адаптивных, робототехнических и 3D-Printing), а также интеллектуальных, таких как конвергентные IT и креативные, приводит к снижению потребности в населении, занятом в современной экономике. В связи с этим возникают вопросы: что представляет собой общество, в котором целесообразной работой занято лишь 15–20% граждан? Станет ли это причиной новой бедности?

Очевидно, что новые технологии трансграничны. Возникает мощный стимул для возникновения глобальных сетей высокотехнологичных анклавов.

Речь идёт о ситуациях, когда издержки на поддержание социального порядка и развитие технологий несут общества, а доходы получают корпорации и немногие компании, включённые в глобальные сети. Идеология «гравитационного» эффекта от центров роста новой экономики больше не работает.

Последовательные размышления о будущем несут в себе ещё немало вопросов. Что означает гражданство в ситуации малолюдной армии, немногочисленного производства, индивидуализации образования и социального страхования? Получение информационной картинки «под человека» – это распад общества на некомуницирующие друг с другом локусы? Грядёт ли эпоха пост-/мультиправды и эрозии всего «истинного»? Что означает возникновение витальной зависимости человека от функционирования сетей и автономно функционирующего ИИ, автономных медицинских систем и столь же автономных систем безопасности?

## Сценарный уровень

В заключение хотелось бы обозначить **развилки глобального развития**. Мир вступает в эпоху глобальной нестабильности и, соответственно, фундаментальной неопределённости. Ещё в 2016 году на Форуме стратегов в Санкт-Петербурге шла речь о том, что количество конфликтов и кризисов в ближайшие 10–20 лет будет несопоставимо выше, чем в предыдущие 30 лет, потому что берутся они из вызревания противоречий, которые сейчас действительно реализовались в серию острейших событий.

Обсуждать повестку дня, развитие экономики и общества приходится в условиях двойной сложности. Это:

- переплетение долгосрочных пакетов трендов, которые в свою очередь формируют системно значимые текущие тренды;
- высокий уровень неопределённости, принципиально сценарный характер зависимостей, причём факторы очень по-разному работают в разных условиях.

**Табл. 5. Соотношение больших трендов и сценариев**

	Экологическая «сборка» мира (глобализация, развитие, энергетический переход как фокус сборки индустрий)	ИТ-глобализация 2.0 (глобализация, развитие, ИТ как фокус сборки)	Конкуренция экологических индустрий (регионализация, развитие, эко- и энергетический переход)	Конкуренция индустрий 4++ (регионализация, развитие, энергетический переход как фокус сборки индустрий)	Отказ от ускоренного развития (суммарно)	Всего	Для сценариев развития
Вероятность сценариев	15	19	23	28	15	<b>100</b>	<b>85</b>
Демографический кризис	8	5,5	9	7	10	<b>7,8</b>	<b>7,4</b>
ИТ-революция (шире – технологическая революция)	6	8	6	10	2,5	<b>7</b>	<b>7,8</b>
Экологические/углеводородные ограничения	10	8	9	8	10	<b>8,8</b>	<b>8,6</b>
Усиление глобальной конкуренции	4,5	7	8	10	7	<b>7,7</b>	<b>7,8</b>



Первый уровень сценариеобразующих противоречий – национальное/глобальное. Это основное противоречие сейчас более важное, чем социальное.

С одной стороны, идёт регионализация производств. Это и китайская национальная инновационная система полного цикла. Это и американский реиндустриализационный процесс. Похожие процессы происходят и в Европе.

Но, с другой стороны, регионализации финансовых систем не произошло. Соединённым Штатам удаётся свои правила успешно навязывать другим, разрабатывая трансграничные санкции. Сейчас США формируют второй, третий и так далее пакет. Французская компания боится работать с Россией, потому что она получит в свою очередь санкции от Штатов.

Второй уровень противоречий – это развитие/стабильность. С одной стороны, демография делает запрос на стабильность. С другой – только развитие позволяет снимать риски хотя бы в перспективе, в отличие от застоя, который опасности лишь медленно накапливает.

**Развилки глобального развития:**

→ новая глобализация – порядка 4,0% вероятности;

- деглобализация – 60%;
- ставка на стабилизацию – 15%;
- ставка на развитие – 85%.

Может случиться, что основой новой экономики станут сквозные экологические, новые энергетические и низкоуглеродные технологии. Соответственно, сквозные ИТ развиваются в меру возможного с учётом энергоёмкости. А экологические эффекты сквозных ИТ-технологий достигаются во многом за счёт оптимизации производства и потребления в экономике. При этом жёстко обеспечивается достаточность энергии для развития ИТ даже для наиболее энергоёмких направлений.

В этом случае наиболее вероятными сценариями станут:

- конкуренция индустрий 4++, регионализация, ускоренное развитие, и всё это в ядре ИТ-технологии (вероятность – 28%);
- конкуренция экоиндустрий – регионализация, развитие, эко- и новые энерготехнологии (вероятность – 23%);
- ИТ-глобализация – реглобализация, ускоренное развитие, ИТ-технологии и биомед (19%);
- экосборка: реглобализация, ускоренное развитие, в ядре – экотехнологии и биомедицина (15%).



Приложение  
к докладу



# Технологии

**Большие драйверы роста  
и развилки догоняющей  
модернизации**

## Автор доклада

---



### **Е. Б. Кузнецов**

Футуролог, сооснователь венчурного фонда «Орбита Капитал Партнёرز», представитель Singularity University, член президиума совета по внешней оборонной политике

Технологии – основной драйвер изменений. Они меняют практику, форматы человеческой деятельности, отношения между субъектами. Если прежде высокие технологии считались уделом отдельных индустрий, то сегодня они пришли в самые массовые отрасли – банкинг, медиа, политику.

Не реагировать на эту повсеместную интервенцию технологий неразумно. История показывает, что страна, пропускающая очередные технологические волны, может остаться не у дел. Примером служит Советский Союз, пропустивший в 1970–1980-е годы волны изменений в микроэлектронике, генетике, новой биологии и так далее. Хотя в СССР и появлялись какие-то уникальные технические решения, в основном в сфере оборонки, в гражданский сектор они практически не попадали. Как результат, отставание и технологическая стагнация.

Рассмотрим, как формировались основные технологические волны и складывались **основные драйверы роста** в историческом прошлом и в современное время.

### Драйверы роста Британии как лидера промышленной революции Запада

Влияние технологических изменений на социальные и экономические процессы наиболее ярко можно

проследить на примере экономики Великобритании в XVII–XVIII столетиях, в годы промышленной революции. Её основные направления (урбанизация, торговля, производительность и технологии) характеризовались следующими особенностями:

- резкий подъём эффективности сельского хозяйства (выход из Мальтузианской ловушки), и как следствие – быстрый рост базовой дешёвой рабочей силы;
- значительный рост товарного обмена «город – деревня» и углубление распределения труда;
- быстрое повышение уровня жизни и ВВП per capita.

В истории Британии были свои особенности – она высвободила дешёвую рабочую силу ДО технологической трансформации, и это привело к гигантской проблеме переизбытка населения. Его «утилизация» происходила в колониях, в том числе в форме порабощения собственных граждан («рабство по контракту»), что способствовало росту низкопроизводительного мануфактурного производства и встраиванию последнего в глобальную торговлю (глобальные торговые операции).

Запустив драйвер промышленной революции, Британия стабилизировала своё хозяйственное развитие и удерживала лидерство до потери монополии в мировой торговле. Последовавшая затем модернизация других государств позволила им **использовать готовый**

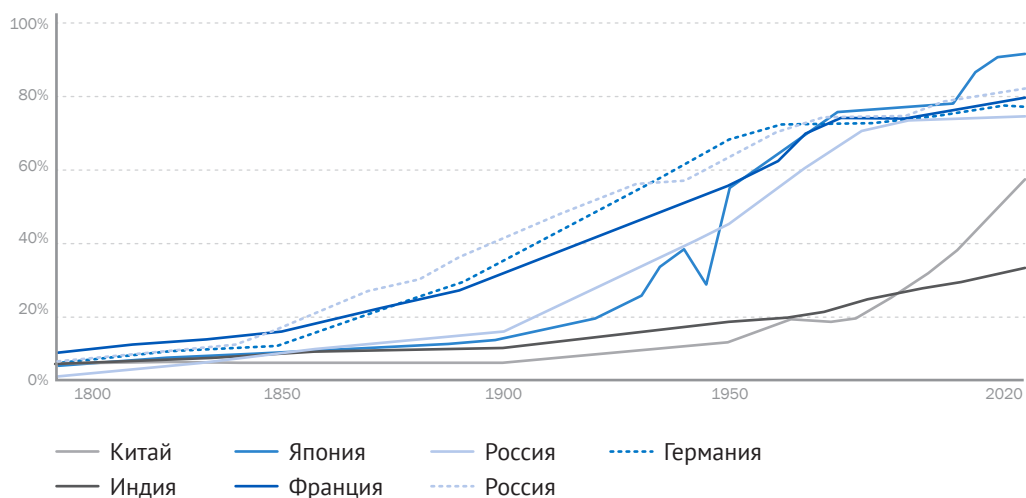
**технологический пакет** для быстрого роста экономики за счёт урбанизации и диффузии технологий.

В XIX веке траекторию урбанизации и смены экономических укладов повторили (примерно в одни сроки) США,

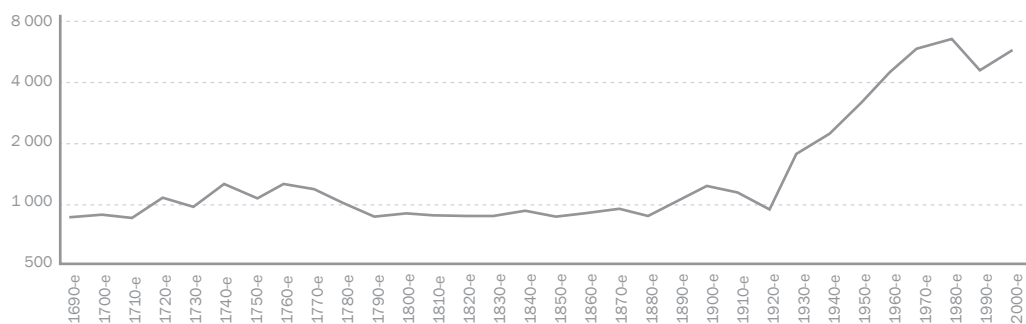
**Рис. 1.** Урбанизация – драйвер роста №1

- Резкий рост эффективности с/х
- Резкий рост товарного обмена «город – деревня»
- Резкий рост уровня жизни и ВВП per capita

Догоняющая модернизация позволяла использовать готовый технологический пакет для быстрого роста экономики за счёт урбанизации и диффузии технологий



**Рис. 2.** Рост ВВП России



Германия и Франция, выйдя по уровню жизни на показатели Великобритании. В XX веке этот же путь параллельно проделали Япония и РИ/СССР. В последней четверти XX века тот же путь повторил Китай, причём его траектория роста (до уровня урбанизации 70%) еще не исчерпана. Если первая группа стран на догоняющий путь затратила около столетия, вторая группа – около 70 лет, Китай – около 50, из которых осталось около 10 лет роста по траектории догоняющей модернизации.

Во всех случаях урбанизация обеспечила наибольший вклад в быстрый рост благосостояния и ВВП, по мере исчерпания темпов роста населения, темпы роста экономик приближаются к среднемировым уровням, снижаясь с траекторий опережающего роста. С учётом второго демографического перехода темпы роста населения останавливаются во всех развитых странах, таким образом, этот драйвер роста перестаёт работать (включая Китай до 2035 года).

## Роботизация

Важным драйвером для мировой экономики становится роботизация. Уже сегодня усреднённая оценка перспективного вытеснения (автоматизации) роботами людей с рабочих мест в большинстве крупных экономик составляет около 50%. В Великобритании эта цифра приближается к 30%, в США – к 50%, в Китае составляет до 70% (до 2030–2035 годов).

Но «вытеснение» скорее означает появление новых рабочих мест взамен автоматизированных. За счёт роботизации можно до 50% увеличивать как рабочие места, так и их эффективность. При успешном снятии социальных барьеров рост автоматизации может быть экспоненциальным до уровня, сравнимого или превышающего текущую рабочую силу. Переломным моментом для мировой экономики станет падение стоимости труда роботов в различных индустриях, в том числе там, где требуется индивидуальная мелкосерийная работа (данный переход технологически подготовлен и может произойти в ближайшие 3–5 лет).

Однако при этом необходимо выстроить процесс роста автоматизации таким образом, чтобы не допустить всплеска безработицы, а значит, важно создать новые рабочие места для людей и перераспределить функционалы. Неудивительно, что главным тормозом на пути масштабного внедрения робототехники являются профсоюзы и органы контроля уровня безработицы. С другой стороны, стрессовые ситуации в экономике ускоряют роботизацию за счёт снижения давления и контроля регуляторов.

Несмотря на множество позитивных моментов для экономики, роботизация создаёт немало проблем для общества. Роботы занимают сегмент рабочих и служащих с **квалификацией среднего уровня**, делая востребованной дешёвую рабочую силу. Наиболее уязвимые страты – когорты 30–50 лет, особенно мужчины.

Таким образом, складывается ситуация, когда человеческий капитал обеспечивает рост только в высокопроизводительном сегменте («talants») и низкопроизводительном («обслуга»), что в итоге ведёт

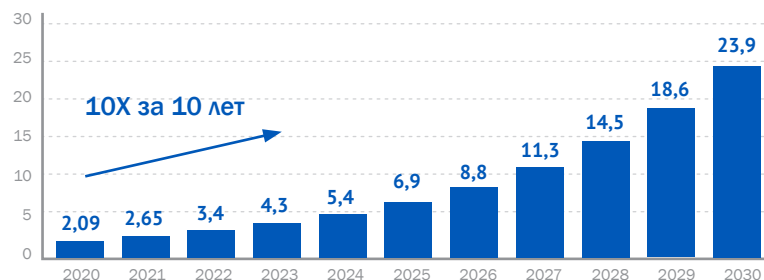
к торможению роста уровня жизни.

В результате возникает дополнительная нагрузка на социальные бюджеты (пособия, welfare, БОД), требующая компенсации в виде специализированного налогообложения.

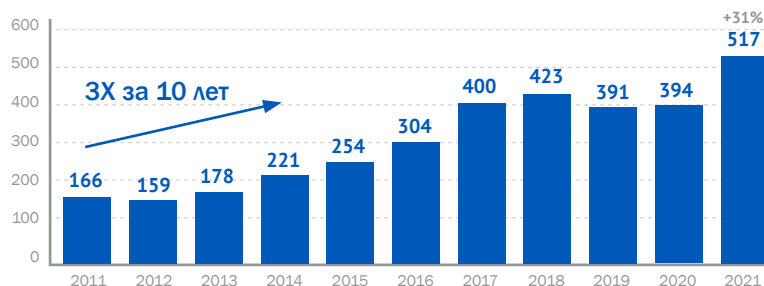
### Рис. 3. Роботизация – драйвер роста №1

- Количество рабочих мест можно увеличивать за счёт роботизации
- При успешном снятии социальных барьеров рост автоматизации может быть экспоненциальным до уровня, сравнимого или превышающего текущую рабочую силу

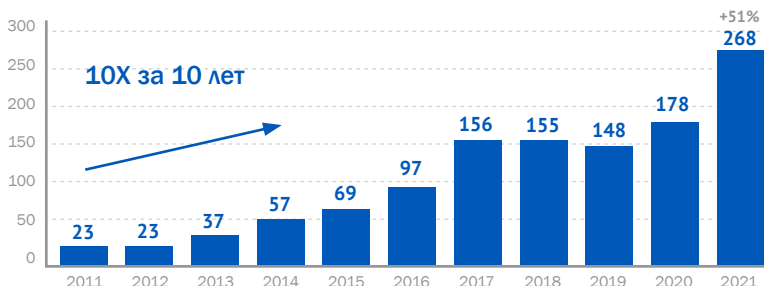
### Прогноз мировых инвестиций в программное обеспечение RPA на основе оценочных показателей в 2021 г. (Statista)



### Ежегодные установки промышленных роботов – мир, 1000 единиц



### Ежегодные установки промышленных роботов – Китай, 1000 единиц



## Рост производительности труда

Активное опережающее внедрение новых технологий и продуктов даёт импульс промышленной модели, при которой происходит развитие новых рынков и компетенций по их управлению, что способствует развитию «сервисной» модели и перераспределению людей в высокомаржинальные сегменты.

Именно это происходит в США, которые исчерпали ресурс сбрасывания издержек в страны третьего мира и сейчас планируют совершить полное технологическое перевооружение для повторения истории роста производительности труда 1950-х годов. Основным способом достижения этой цели должна стать роботизация большинства отраслей.

## Управление финансовыми рынками и глобальная торговля

Основными драйверами в этих сферах являются:

- значительное повышение отдачи на капитал;
- глобальное перераспределение прибыли и убытков;
- создание глобальных цепочек компонентов и поставок.

При этом происходит выстраивание отношений между экономиками разных стран по принципу «лидер – догоняющий», что на симбиотической фазе вызывает бурный рост всех участников.

Но со временем развивается негативный сценарий – может наступить экономический кризис при выравнивании масштабов и уровней сложности экономик (что и стало кризисом системы Chimerica – симбиоза экономик Китая и США).

## Ставки на «дизрапт»

Дизрапт – это подрывные инновации, из-за которых старые технологии становятся неконкурентоспособными. Они приводят к лидерству в развитии экспоненциально растущего сегмента, обеспечивают радикальное ускорение развития и меняют баланс сил в мировой экономике.

Результатом дизрапта могут стать резкое развитие новых рынков и, как следствие, слом системы конкуренции. Примером является Китай, который в начале XXI века сделал ставку на «чистую энергию» и к 2022 году стал доминирующим игроком на рынке фотовольтаики, контролируя его на 80–90%.

При создании успешного продукта масштабирование идёт экспоненциально. Нефтяной рынок проходил стадии такого экспоненциального роста в течение 100 лет – с конца XIX века до 1970-х годов. Наиболее активный его период пришёл на 1940–1980-е годы, при этом рынок увеличился за 40 лет в 10 раз, в то время как в предыдущие десятилетия удваивался каждые 10–20 лет.



Лидерами в нефтяной гонке в период экспоненциального его роста были США, в меньшей степени СССР. Этот рост опирался на резкое увеличение энергоёмкости производства и взрывное приращение автотранспорта, ставшие драйверами, повысившими производительность и общее экономическое развитие. Результатом стал нефтяной энергопереход, который радикально изменил баланс сил в мире и в глобальной экономике.

Сейчас происходит обратный процесс: углеводороды перестают играть ключевую роль. Даже при замедлении темпов роста рынка в два раза к 2035 году солнечные и ветряные электростанции смогут производить около половины всей мировой электроэнергии. Такое изменение энергофундамента создаёт мультипликативный эффект для всей экономики, резко деформируя отраслевую структуру и развивая новые рынки.

Другим примером дизрапта может стать экономика КНР. В своё время рывок Китая возник при относительно стабильных ценах в мировой экономике. Сейчас этот драйвер прекращает играть свою роль. Если рассматривать другие экономические позиции, то:

- драйвер урбанизации сходит на нет;
- драйвер глобальной торговли слабеет;
- драйвер компетенции КНР в мировой торговле так и не достиг уровня США.

Исходя из этого, у Китая больше нет вариантов ставок, кроме как на дизраптивный драйвер роста (глобальное

уничтожение старых индустрий, в которых у Китая нет лидерства, и развитие новых). К примеру, Китай стал доминирующим производителем электромобилей, и его темпы роста в этом сегменте значительно превосходят всех конкурентов.

### Двадцатилетний период X-перехода в энергетике

На сегодняшний день 85 стран преодолели барьер в использовании пятипроцентной доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и продолжают двигаться к их более широкомасштабному внедрению. Кроме того, за последние десять лет продажи электромобилей выросли в 50 (!) раз, причём за счёт этого переход автостроения вновь становится высокомаржинальной индустрией (доход Теслы с одной машины достигает 10 000 долларов, что почти на порядок превышает лучшие показатели конкурентов, многие же автоконцерны работают с околонулевой маржинальностью).

Кроме того, идёт взрывной рост потребления новых ресурсов, актуальных для энергоперехода (литий, никель, кобальт и т. п.). Важно подчеркнуть, что освоение новых энергетических ресурсов производится по новой модели финансирования майнинга (модель «юниоров»). Фактически это новые биржевой и внебиржевой сегменты венчурной деятельности. Ожидается рост потребления critical minerals

---

**На сегодняшний день 85 стран преодолели барьер в использовании пятипроцентной доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и продолжают двигаться к их более широкомасштабному внедрению.**

---

в 20–40 раз (!) до 2040 года, что радикально перевернёт ландшафт добывающих индустрий (на фоне снижения добычи угля, нефти и газа, которые ускорят падение после 2025–30 годов).

Отставание той или иной страны в смене индустриальной модели оставляет её позади из-за роста доли низко-растущей и низкомаржинальной индустрии в её балансе.

### **Какие драйверы роста активны в России?**

Картина здесь до 2040 года, к сожалению, выглядит довольно безрадостно. Драйверы глобальной торговли постоянно снижаются. Ценность углеводородов на горизонте ближайших 10–15 лет будет резко падать, а другие ниши



в глобальной торговле у России крайне незначительны, хотя это и не означает, что они не могут быть найдены.

Драйверы урбанизации и дешёвого труда отсутствуют. Миграция не даст достаточного притока населения, если только радикально не увеличить её поток, что в свою очередь будет способствовать росту социального напряжения.

Компетенции и производительность труда постоянно снижаются. Управленческие и маркетинговые компетенции весьма слабы и соответствуют мировому уровню только в IT-сегменте (сфера активной диффузии компетенций от лидеров).

Технологических преимуществ (дизрапта) у России сегодня так же нет. В ключевых сегментах технологической революции имеет место либо тотальное, либо существенное отставание её экономики. Даже отдельные конкурентоспособные сферы (космос, атом, IT-технологии) испытывают проблемы с организацией и зачастую блокируются для доступа на глобальный рынок сбыта.

### **Какие драйверы роста нужны России?**

Для потенциального экономического роста нашей стране необходимы следующие драйверы роста.

**Урбанизация и дешёвый труд.** Россия – один из крупнейших рынков рабочей силы в Евразии, который пока привлекает

лишь низкоквалифицированных работников. Между тем необходимо сделать акцент на средне- и высококвалифицированных мигрантов, для чего требуется радикально трансформировать геополитический имидж России.

**Глобальная торговля.** Необходимы *кратный* рост агроэкспорта и *порядковый* рост актуальных полезных ресурсов – лития, никеля и т. д.

**Рост компетенции и производительности труда.** Нужен массовый импорт управленцев, например, путём создания совместных предприятий (СП). На данный момент наиболее очевидным партнёром в этой области может выступить Китай (хотя опыт среднеазиатских стран показывает крайне низкий переток управленческих компетенций от китайцев к локальному менеджменту). В будущем его могут сменить и европейцы. Более того, в 2030-е годы в связи с климатическими изменениями возможен перенос в Россию и европейских производств.

## Технологические преимущества России (дизрафт)

Технологические заделы весьма невелики и традиционны. Прежде всего это атомная индустрия. Здесь существует хороший запас, сама отрасль сохранена и управляется на мировом уровне, формируются современные инструменты роста – M&A, венчурные технологии. Однако имеются и проблемы – длинные циклы инвестиций и периодический срыв экспансии. Для эффективного развития российской атомной отрасли понадобится быстрое создание качественно новых продуктов (малые атомные реакторы для поселений и судов с простой системой эксплуатации и максимально безопасные). Плюсом можно считать запрос рынка на среднемировое удвоение (!) доли атома в электроэнергетике.

Космическая отрасль традиционно имеет в нашей стране большой задел, но очевидно, что отрасль деградирует. Управление в ней крайне устаревшее



**Россия – один из крупнейших рынков рабочей силы в Евразии, который пока привлекает лишь низкоквалифицированных работников. Между тем необходимо сделать акцент на средне- и высококвалифицированных мигрантов, для чего требуется радикально трансформировать геополитический имидж России.**

и неэффективное, отсутствуют современные инструменты для руководства ею. Кроме того, в российской космической сфере нет актуальных на мировом рынке продуктов и услуг, а разработка новых ведётся крайне медленно. Не получила своего развития и кооперация с мировыми лидерами отрасли.

Других заделов у России фактически нет, лишь в части отраслей сохраняется фрагментарное соответствие общемировым трендам. В остальных «направлениях прорыва» отсутствуют достаточно полные технологические пакеты и возможна только глобальная кооперация.

Другие возможные ставки:

- **климатические технологии.** Одним из таких проектов может стать terra-формирование Сибири и создание там глобального масштаба неагропромышленного кластера, который будет включать выращивание новых для нашей страны видов сельскохозяйственных культур, развитие транспортных коридоров, обеспечивающих новую транспортную доступность;
- **вовлечение в глобальный рынок углерода.** Прежде всего речь идёт о Китае как об одном из крупнейших рынков сбыта углеродных кредитов;
- **новое сельское хозяйство.** Генно-инженерное проектирование сельскохозяйственных видов, неоиндустриальное сельское хозяйство;
- **экспортная энергетика.** Строительство электроэнергетических коридоров и перенос в Россию энергоёмких производств.

Также имеется несколько сфер, где очень хорошие позиции имеет отечественная наука. Это прежде всего искусственный интеллект. Российские учёные входят в число лидеров по биоинформатике – отрасли на стыке информатики и биологии (геномика и так далее). Однако в редактировании геномов мы сильно просели. Есть достижения мирового уровня в химии, материаловедении, но мы уже не способны конкурировать по всей ширине научного фронта. Впрочем, этого никто, кроме США, сейчас делать не может. Остальные страны выбирают пару направлений, где стараются добиться успехов. Возвращаясь к России, с сожалением можно сказать, что отставание от лидеров с каждым годом нарастает.

## Китай – история успеха

Представляется интересным сравнить отличие драйверов модернизации России и Китая, действовавших в последние десятилетия.

- 1. Россия испытала крайне ограниченный приток прямых иностранных инвестиций (ПИИ) в сектор науки и инноваций, которые при этом не были совмещены с производственными площадками («вывоз компетенций»). Единичными исключениями стали центры разработок – Intel или Boeing.
- 2. В России отсутствовал «офсетный» принцип доступа к рынку – доступ в обмен на инвестиции в инфраструктуру, R&D и т. п. С недавних пор использовался такой инструмент,

как специальный инвестиционный контракт (СПИК), крайне редуцированный и слабый инструмент промышленной политики.

- 3. В России не была сделана ставка на перенос иностранных производств на её территорию для освоения глобального рынка. Происходил лишь частичный перенос в рамках импортозамещения.
- 4. В России не были сформированы компетенции по глобальному экспорту технологической продукции и институты их поддержки. В свою очередь Китай сделал это, переманивая сотрудников из иностранных компаний, от которых он получил необходимые опыт и компетенции.
- 5. В России не была сделана ставка на сдвиг университетов из позиции «вуз» в позицию «технологическая корпорация». Сегодня у нас по инерции развиваются сферы знания, не требующие междисциплинарного взаимодействия, например экспериментальная физика или математика. Но это всё лишь продолжение науки XIX века. А то, что сегодня по-настоящему актуально, развивается в кампусах, которых в России до сих пор нет. Например, МГУ – прекрасный университет, великолепная естественно-научная школа. Но своей инженерной школы в нём нет, а значит, нет и связи инженерии с технологическими решениями. В этом смысле наши университеты остаются «недоуниверситетами». В МГУ есть факультет вычислительной математики и кибернетики, но нет факульте-



**В российской космической сфере нет актуальных на мировом рынке продуктов и услуг, а разработка новых ведётся крайне медленно. Не получила своего развития и кооперация с мировыми лидерами отрасли.**

та computer science в современном, широком понимании. В остальных российских университетах с междисциплинарным взаимодействием дела обстоят ещё хуже.

# **Квантовые технологии: общее введение**

Автор доклада

---



**А. К. Фёдоров**

Руководитель группы квантовых информационных технологий Российского квантового центра

Первая волна квантовых технологий, ознаменовавшая развитие физики в первой половине XX века, привела к появлению лазеров, транзисторов, атомной энергетики, а впоследствии – мобильной телефонной связи и интернета.

Технологии первой квантовой волны сегодня применяются практически повсеместно: в компьютерах, мобильных телефонах, планшетах, цифровых камерах, системах связи, светодиодных лампах, МРТ-аппаратах, сканирующих туннельных микроскопах и во многих других приборах. По различным экспертным заключениям, оценка индустрии первой волны квантовых технологий в денежном выражении составляет более 3 трлн долларов США в год.

С конца XX века мир находится на пороге развития технологий второй квантовой волны, которая может оказать на мир ещё большее влияние. Её ключевое отличие от первой, в которой технологии и приборы строились на управлении коллективными квантовыми явлениями, заключается в способности управлять сложными квантовыми системами на уровне отдельных индивидуальных квантовых объектов, например искусственных атомов, ионов и фотонов. Методы, основанные именно на таком высоком уровне контроля над индивидуальными квантовыми объектами, принято объединять термином «квантовые технологии».

Сегодня квантовые технологии начинают играть всё более важную роль в вопросах национальной безопас-

ности, а также в стратегически важных отраслях, таких как информационные технологии и медицина. Они востребованы для дальнейшего прогресса во всех стратегических направлениях цифровой экономики, например для развития искусственного интеллекта в долгосрочной перспективе. Несмотря на то, что квантовые технологии обладают большой научной составляющей, это не мешает им быстро развиваться и проникать в индустрию.

## Квантовые технологии делятся на три основных направления

**Квантовые вычисления** – новый класс вычислительных устройств, использующий для решения задач принципы квантовой механики. Прогнозируется, что в целом ряде случаев квантовый компьютер будет способен дать многократное ускорение в сравнении с существующими суперкомпьютерными технологиями. Примерами являются сферы кибербезопасности, оптимизации (финансовой, производственной, логистической и т. д.) искусственного интеллекта, обработки данных, а также создание новых материалов и лекарств. Стоит особо отметить, что квантовые компьютеры рассматриваются не как замена тради-



---

**Сегодня квантовые технологии начинают играть всё более важную роль в вопросах национальной безопасности, а также в стратегически важных отраслях, таких как информационные технологии и медицина. Они востребованы для дальнейшего прогресса во всех стратегических направлениях цифровой экономики, например для развития искусственного интеллекта в долгосрочной перспективе.**

---

ционных вычислительных технологий, а как их усиление для решения определенных классов задач.

**Квантовые коммуникации** – технология криптографической защиты информации, которую используют для передачи ключей индивидуальным квантовым частицам. Главное преимущество квантовых коммуникаций – защищённость информации, гарантированная законами физики.

**Квантовые сенсоры и метрология** – совокупность высокоточных измерительных приборов, основанных на квантовых эффектах. Высокая степень контроля состояния отдельных микроскопических систем позволяет создавать сверхточные квантовые сенсоры с пространственной разрешающей способностью, сравнимой с размером одиночных атомов, а также высокоточные атомные часы.

К 2023 году наиболее близкой для коммерческого применения является технология квантовых коммуникаций, которая уже понятна рынку в России и в мире.

В технологически развитых странах исследования и разработки в области квантовых технологий находятся под бдительным вниманием государства. Крупные госинвестиции в эту научно-технологическую область объясняются стратегической важностью квантовых технологий для обеспечения защищённости интересов любой страны, в частности в информационной сфере. Геополитические лидеры создают целевые программы развития квантовых технологий, рассматривая их как неотъемлемый элемент технологического суверенитета.

→ В США конгрессом утвержден проект развития квантовых технологий объёмом 20 млрд долларов.

**Рис. 1. Квантовые сенсоры и метрология**



**КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ**

класс вычислительных устройств, использующий для решения задач принципы квантовой механики

**КВАНТОВАЯ И ПОСТКВАНТОВАЯ КРИПТОГРАФИЯ**

инфраструктурные решения, обеспечивающие абсолютную защиту информации, устойчивую к классическим и квантовым кибератакам

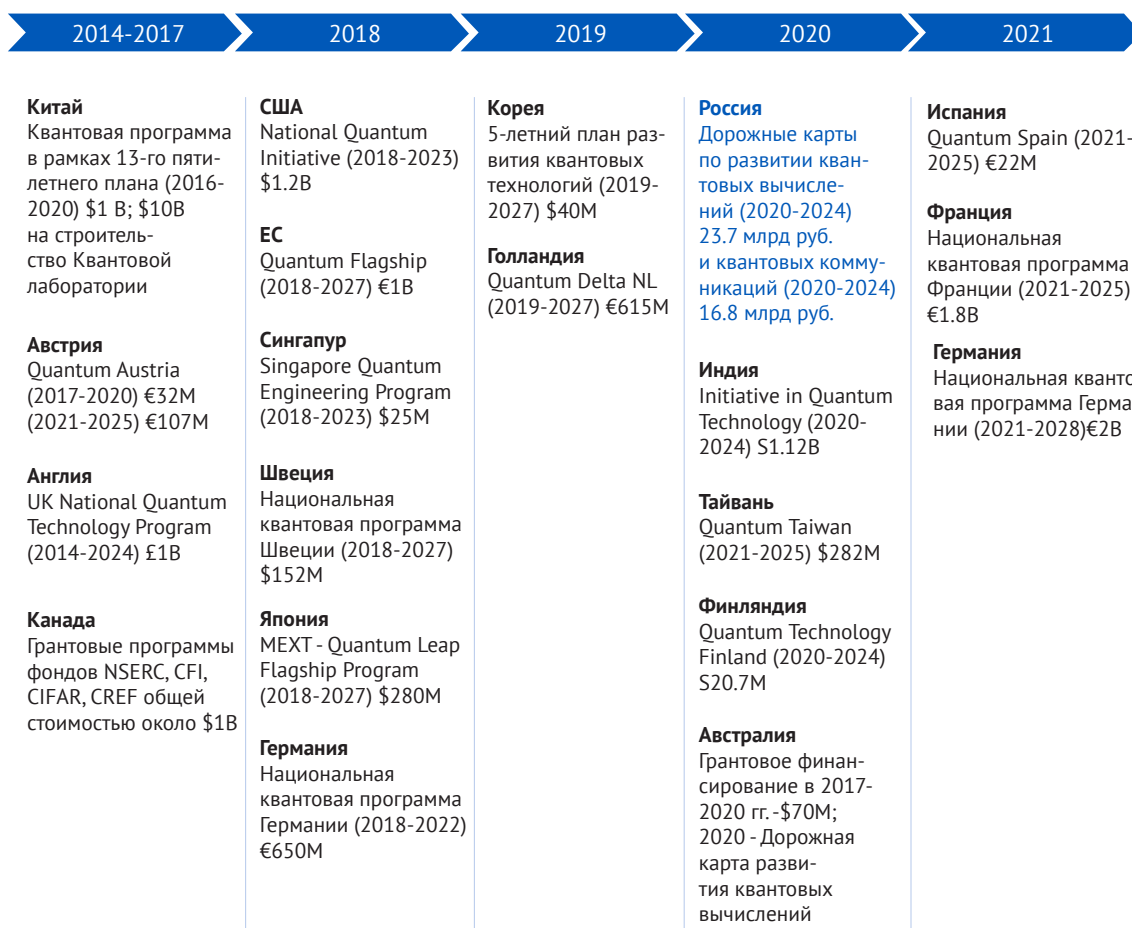
**КВАНТОВЫЕ СЕНСОРЫ**

измерительные приборы, использующие сверхчувствительные квантовые эффекты

- В Европе действует программа Quantum Flagship с бюджетом более 3 млрд евро (после завершения предыдущей программы 2013–2016 годов). Отдельные программы есть в Германии, Франции, Швеции, Финляндии, Нидерландах и т. д.
- В Китае создана Национальная квантовая лаборатория с бюджетом более 15 млрд долларов.

- Великобритания осуществляет программу «Национальные квантовые технологии» (2014–2024 годы) с бюджетом в 1 млрд фунтов.
- Япония осуществляет программу «Квантовый скачок» (2018–2027 годы) с финансированием в 280 млн долларов.

Рис. 2. Квантовые технологии стран



Кроме государственных программ значительное ускорение развитию квантовых технологий придали инвестиции со стороны крупнейших мировых корпораций, например Google, Microsoft, Intel, Alibaba и IBM. Другие компании, такие как Airbus, Goldman Sachs, BMW и Volkswagen, уже решают с помощью этих методов прототипы прикладных

задач. Суммарные инвестиции частных компаний в квантовые технологии составляют несколько миллиардов долларов в год. Частные инвестиции в квантовые проекты стремительно растут, особенно в Китае, Японии и Сингапуре. В данный момент на начальной стадии развития находятся программы по квантовым технологиям в Индии и Бразилии.

Квантовые технологии в значительной мере основываются на достижениях фундаментальной науки в тех направлениях, в которых российские учёные традиционно сильны. Советско-российская школа квантовой физики является одной из лучших в мире. Все Нобелевские премии по физике связаны с достижениями советских и российских учёных в области квантовой физики. Научная школа значительно пострадала из-за массового отъезда учёных за границу в 1990-х и 2000-х годах, что, однако, сформировало в области квантовой физики сильнейшую русско-говорящую международную научную диаспору. При этом в России остались десятки научных групп, способных проводить исследования мирового уровня. Появившаяся в последнее десятилетие тенденция к возвращению состоявшихся за границей российских учёных и привлечению их зарубежных коллег без российского опыта позволит обеспечить России потенциал для прорыва и захвата лидирующих позиций в отдельных направлениях квантовых технологий.

Усиливает эту позицию и тот факт, что индустрия квантовых технологий в мире находится ещё на стадии формирования. Поэтому в данный момент имеется возможность при резком старте присоединиться к квантовой технологической гонке, несмотря на имеющееся сегодня отставание. Целевая поддержка развития квантовых технологий позволит сократить разрыв в таких направлениях, как квантовые

вычисления, а по ряду направлений, например в области квантовых коммуникаций, создать конкурентные продукты с экспортным потенциалом и выйти на международные рынки.

Роль квантовых технологий уже осознана на высшем уровне. Во многом поэтому квантовые технологии в качестве приоритетных направлений научно-технологического развития были упомянуты президентом РФ В. В. Путиным в ежегодном послании Федеральному собранию в 2016 году. В 2019 году разработана дорожная карта развития квантовых технологий в рамках программы «Цифровая экономика». Следующим шагом было заключение соглашений между Правительством Российской Федерации и госкорпорациями, ответственными за различные направления квантовых технологий: квантовые вычисления (ГК «Росатом»), квантовые коммуникации (ОАО «РЖД») и квантовые сенсоры (ГК «Ростех»).

Одной из ключевых задач развития квантовых технологий в современных условиях является импортозамещение ключевого оборудования и компонентов, которые необходимы для производства. Речь идёт как об измерительном оборудовании, устройствах электронного управления, оптоэлектронных устройствах, так и о необходимых компонентах.

Также важной задачей является международное сотрудничество в научных аспектах квантовых технологий.

## Квантовые вычисления

**Определение.** Квантовые компьютеры и симуляторы – это вычислительные системы, использующие для решения задач квантовые явления. Устройства, созданные на основе квантовых вычислений, могут многократно превосходить классические компьютеры при решении задач криптоанализа, моделирования сложных систем, а также машинного обучения и искусственного интеллекта. Появления первых прикладных результатов можно ожидать по мере развития существующих квантовых компьютеров в области ускорения задач машинного обучения, оптимизации и моделирования химических систем (например, для создания лекарств).

**Уровни готовности.** Согласно классификации QTRL, созданной специально для анализа развития квантовых вычислительных технологий, разработки, которые ведут научные институты и компании в мире, на данный момент соответствуют уровням QTRL 4–5, то есть в их вычислительных системах пока не решена задача реализации квантовых кодов коррекции ошибок и, соответственно, на них не могут быть в полном объёме реализованы практически значимые алгоритмы (например, алгоритм Шора для криптоанализа). При этом созданные квантовые вычислительные устройства уже соревнуются с классическими суперкомпьютерами в отдельных задачах (такие задачи являются тестовыми и практически не обладают прикладной значимостью), а также такие устройства используются для решения прототипов прикладных

задач из области оптимизации, машинного обучения и химии, в том числе в интересах коммерческих партнеров.

В России создан значительный научный задел в области квантовых вычислений, также развиваются различные элементные базы для построения квантовых компьютеров и квантовых симуляторов. Наиболее перспективными и лидирующими платформами в мире считаются сверхпроводящие цепочки, нейтральные атомы, оптические системы и ионы в ловушках (уровень развития QTRL 4–5). Эти направления достаточно сильно развиты и в России (QTRL 2–4). Имеется задел по квантовым вычислениям с использованием фотонов и интегральной оптики, примесным атомам в кремнии, квазичастиц (поляритоны, магноны). Квантовые вычисления развиваются в рамках дорожной карты по квантовым вычислениям (за её реализацию отвечает ГК «Росатом»). К 2023 году продемонстрированы системы с 16 кубитами, тогда как в мире число кубитов в функционирующих процессорах – от 70 до 256 в зависимости от системы (созданы также системы с 433 кубитами, однако пока не показаны результаты работы подобных систем).

Ведётся обширная работа в области квантовых алгоритмов и программного обеспечения, которая включает в себя создание методов характеристики (томографии) квантовых состояний и процессов, подавления ошибок в квантовых компьютерах, реализацию, а также разработки

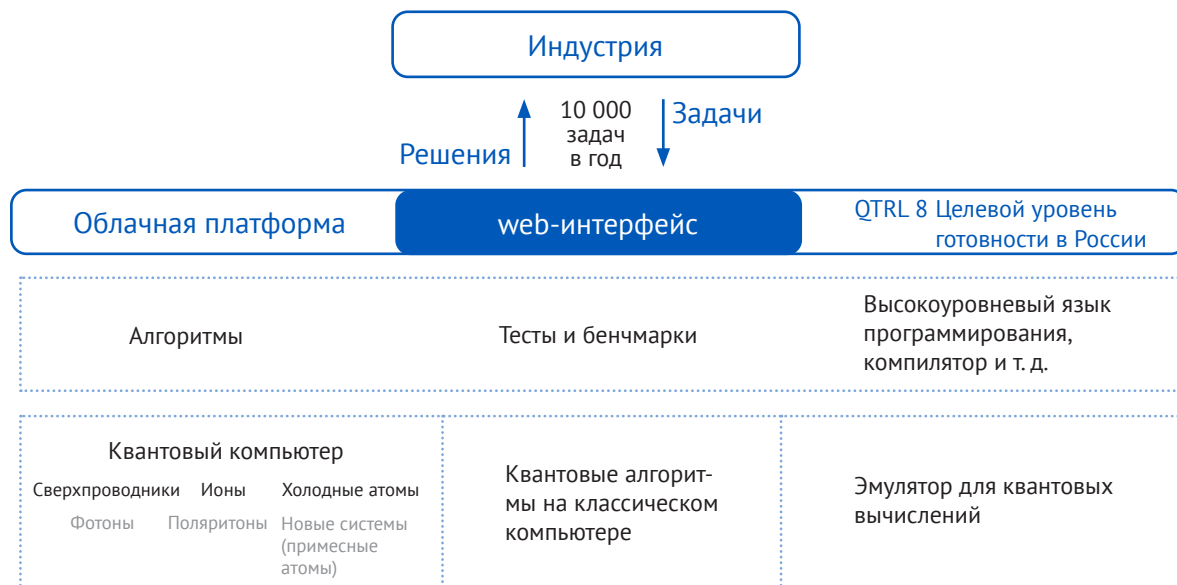
в области вариационных квантовых алгоритмов, алгоритмов квантового машинного обучения, эмуляции квантовых вычислений, оптимизации квантовых операций, исследования ресурса существующих квантовых компьютеров. Разрабатываются квантовые алгоритмы для решения промышленных задач для оптимизации процессов в финансовой и нефтегазовой отрасли, а также в интересах атомной промышленности.

Рост мощности квантовых компьютеров не только открывает возможности для решения сложнейших задач оптимизации и материаловедения, но также создаёт новую угрозу. Квантовые компьютеры смогут взламывать традиционные криптографические алгоритмы, которые сегодня широко используются для защиты данных. Один из возможных

способов противодействовать этому риску – это переход на постквантовую криптографию – новое поколение алгоритмов, которые устойчивы к атакам, как с применением классических, так и с применением квантовых компьютеров. В России научными группами и промышленными компаниями ведётся разработка алгоритмов постквантовой криптографии и решений на их основе.

Итогом реализации мероприятий дорожной карты в перспективе до 2024 года станет создание полного стека квантовых вычислений – от аппаратных платформ до программных продуктов и алгоритмов. В ходе реализации дорожной карты в 2021–2024 годах должна быть заложена необходимая технологическая база и обеспечена подготовка высококвалифицированных кадров мирового уровня.

**Рис. 3. Квантовые вычисления для решения задач индустрии к 2024–2030 годам**



**Основные вызовы для развития технологии и планы к 2040 году.**

- Неидеальности и ошибки при работе квантовых процессоров ведут к существенным ограничениям вычислительных возможностей.
  - ↘ К 2040 году разрабатываются и производятся квантовые процессоры с коррекцией ошибок.
- На сегодняшний день не определена лидирующая физическая платформа для квантовых вычислений.
  - ↘ К 2040 году разрабатываются и производятся квантовые процессоры на основе одной или нескольких масштабируемых платформ, где количество кубитов без потери качества операций может стремиться к 100 000–10 000 000 кубитов с возможностью выполнения высококачественных квантовых операций.
- Квантовые вычисления не применяются для решения практически важных задач.
  - ↘ К 2030–2035 году показаны примеры полезного квантового превосходства: решение квантовым компьютером полезных задач быстрее, чем это возможно без квантовых технологий.
  - ↘ В период 2030–2040 квантовые вычисления уже используются для решения прикладных задач компаниями из различных индустрий.
- Продуктовая линейка квантовых процессоров.
  - ↘ Квантовые процессоры функционируют как образовательные продукты, формируя новый рынок для научных центров, университетов и школ.
  - ↘ Квантовые процессоры как конечные продукты интегрированы в дата-центры.
- Масштабирование квантовых процессоров затруднительно.
  - ↘ Создание квантового интернета – концепции объединения квантовых компьютеров в сети для увеличения их производительности.
- Разработка криптографических алгоритмов, устойчивых к атакам с применением квантовых компьютеров: постквантовые алгоритмы шифрования и цифровых подписей для решения задач индустрии и цифровых государственных сервисов.
  - ↘ Создание стандартов электронно-цифровых подписей на основе решений, устойчивых по отношению к атакам с квантовым компьютером.
  - ↘ Интеграция в государственные сервисы.
- Развитие кадрового потенциала
  - ↘ Квантовые вычисления становятся частью образовательных процессов.
- Импортозамещение ключевых компонентов для квантовых вычислений.



## Квантовые коммуникации

**Определение.** Квантовые коммуникации – область знаний и технологий, связанных с передачей квантовых состояний в пространстве. Одним из направлений квантовых коммуникаций является создание защищенных каналов связи на основе квантового распределения ключей (КРК) – метода защиты передаваемой информации с использованием технологий коммуникаций, позволяющего гарантированно защитить данные от компрометации и несанкционированного доступа. Главное преимущество КРК – защищённость информации, гарантированная законами физики.

За развитие квантовых вычислений в РФ в рамках дорожной карты «Квантовые коммуникации» отвечает ОАО «РЖД». Реализация мероприятий дорожной карты в перспективе до 2024 года позволит в том числе консолидировать профессиональное сообщество исследователей и инженеров, развить отечественную экосистему КК и сформировать соответствующие рынки.

**Приоритетные отрасли.** Защита национальных информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечение защиты информации для финансового сектора, государственных органов, крупных технологических компаний и держателей критической информационной инфраструктуры.

**Уровни готовности.** Уровень готовности в мире оценивается как TRL 9 как в решениях «точка-точка»,

так и в сетях с доверенным узлом. Оборудование КРК для сетей с недоверенными узлами находится на уровне лабораторного тестирования. Также активно развивается коммерческое направление квантовых коммуникаций. В 2018 году состоялась сделка по приобретению компании ID Quantique корейским телекоммуникационным оператором SK Telecom. С учётом стратегического значения квантовых технологий для развития сетей связи, в том числе 5G, в рамках сделки компания была оценена в 130 млн долларов. В 2020 году китайская компания QuantumCTek, занимающаяся разработками оборудования для квантовых сетей (КС), вышла на IPO и стала первым квантовым «единорогом». Сейчас её стоимость составляет более 2 млрд долларов. В 2021 году стартап Quantum Xchange привлек 13 млн долларов.

В России создан значительный научно-технологический задел в области технологий и оборудования квантовых коммуникаций (КК). Сегодня уровень готовности отечественных решений «точка-точка» можно оценить как TRL 8. Создана сеть Москва – Санкт-Петербург на основе доверенных узлов. Проведены серии испытаний устройств квантового распределения ключей в городских условиях. Созданы университетские квантовые сети в Москве и Санкт-Петербурге, которые планируется объединить в межвузовскую квантовую сеть.

В области квантовых коммуникаций работают как уже состоявшиеся компании рынка информационной безо-



пасности, так и стартапы (ООО «КуРЭйт», ООО «Квантовые коммуникации», ООО «КуСпейс»).

#### Ключевые характеристики:

предельная дальность распределения секретных ключей, скорость распределения секретных ключей, степень секретности ключей, цена, требование к инфраструктуре и т. д.

В данной области в России функционирует несколько команд, которые демонстрируют прототипы новых решений, в том числе прототипы сетей КРК, и проводят испытания в реальных условиях. За период функционирования ДК «Квантовые коммуникации», предполагается создать ряд рыночных решений для систем КРК, сертифицированных регулятором.

Актуализация угрозы квантового компьютера увеличит скорость развития рынка квантовых коммуникаций как в России, так и за рубежом. Поддержка строительства квантовых сетей сформирует сильных игроков рынка, которые создадут как магистральные сети, так и разветвленные городские. Новые решения должны позволить перейти от решений «точка-точка» к архитектуре «звезда» со снижением стоимости подключения и к решениям без требования к доверию промежуточному узлу.

#### Ключевые задачи дорожной карты по квантовым коммуникациям:

- реализация комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- развитие серийного производства;
- стимулирование спроса;

**Рис. 4. Примеры промышленных решений, созданных стартапами в области квантовых технологий**

#### ПОСТКВАНТОВАЯ КРИПТОГРАФИЯ

##### Газпромбанк, S-Terra | КуАпп

- Программные решения на основе квантово-устойчивых алгоритмов шифрования (библиотека алгоритмов, клиент-серверное решение);
- впервые в России проведены успешные испытания в ограниченном периметре Газпромбанка;
- созданы уникальные совместные квантово-устойчивые решения с производителем криптооборудования «С-Терра СиЭсПи»;
- проведена демонстрация работы квантово-устойчивого ПО на отечественных процессорах «Байкал» и «Эльбрус».

#### ЗАЩИЩЕННЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

##### Сбербанк, Газпром Банк, Росатом | КуРЭйт

Квантовая сеть с открытым доступом в г. Москва. Проект по созданию открытой квантовой сети реализован участниками консорциума Центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) «Квантовые коммуникации», созданного на базе НИТУ «МИСиС»: МТУСИ, ООО «КуРЭйт», ООО «Код Безопасности». На оптоволокне между доверенными узлами реализуется метод квантового распределения ключей (КРК).

#### КВАНТОВЫЙ БЛОКЧЕЙН

##### Первая в мире блокчейн-сеть с квантовой защитой | КуРЭйт

Новый блокчейн-протокол, с использованием решений квантового распределения ключей. В условиях подходящей конфигурации сети это даёт возможность не использовать те элементы блокчейна, которые возможно взломать с помощью квантового компьютера. Суть защиты заключается в дополнительных требованиях, которые предъявляет квантовая коммуникационная сеть во время дописывания нового блока в блокчейн.

#### КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

**Прямая интеграция с сервером клиента, возможность подключения через API. Скорость генерации случайных чисел превышает 2,5 Гбит/сек. | КуРЭйт**

Новый метод генерации истинно случайных чисел. Метод основан на использовании квантовых свойств фотонов, подделка или предсказание которых нельзя. Более того, учёные также предложили метод сертификации в реальном времени полученных оптическим генератором случайных чисел и достигли в этом рекордных показателей — 8,05 Гбайт/с.

- стандартизация и регулирование отрасли квантовых коммуникаций;
- развитие инфраструктуры;
- разработка магистральных квантовых сетей;
- разработка межвузовских квантовых сетей;
- развитие кадрового потенциала.

#### Основные вызовы развития технологии и планы к 2040 году:

- масштабирование квантовых сетей и их использование бизнесом;
- увеличение протяженности квантовых сетей;
- создание внутригородских сетей;
- проблема расстояния для передачи распределения квантовых ключей;
- создание решений на основе атмосферных и спутниковых каналов КРК, создание группировки спутников для КРК;
- новые стандарты по защите новых типов данных (генетическая, медицинская информация и т. д.);
- интеграция систем КРК и постквантовых алгоритмов;
- импортозамещение ключевых компонентов для квантовых коммуникаций.

## Квантовые сенсоры и метрология

**Определение.** Квантовые сенсоры – высокоточные измерительные приборы, основанные на квантовых эффектах. Ожидается, что квантовые сенсоры будут иметь высокое пространственное и временное разрешение, что позволит повысить точность измерений в сравнении с существующими классическими сенсорами, а использование свойств суперпозиции, запутанности, сжатия квантовых состояний в свою очередь обеспечит в перспективе максимально возможную чувствительность измерения за счёт преодоления стандартного квантового предела.

## Приоритетные отрасли

Высокая степень контроля над состоянием отдельных микроскопических систем, обеспечиваемая квантовыми технологиями, позволяет создавать квантовые сенсоры с высокой чувствительностью. Развитие технологий разнообразных датчиков нового поколения может дать

**Рис. 5. Области использования квантовых сенсоров в РФ к 2024 году**

### Индустрия 4.0



Масштабирование сенсорных сетей (без затрат на обслуживание)

### Медицина



Новые методы диагностики и терапии заболеваний

### Навигация



Высокая точность геолокации (сантиметры)

мощный импульс сразу в нескольких областях: в обороне и безопасности, навигации (космос, беспилотный транспорт), строительстве, нефтедобыче и геологоразведочных работах, в медицинской диагностике/терапии, индустрии 4.0.

**Уровни готовности.** Общая оценка уровня готовности технологий квантовой сенсорики в мире TRL 3–9 и в РФ TRL 1–5.

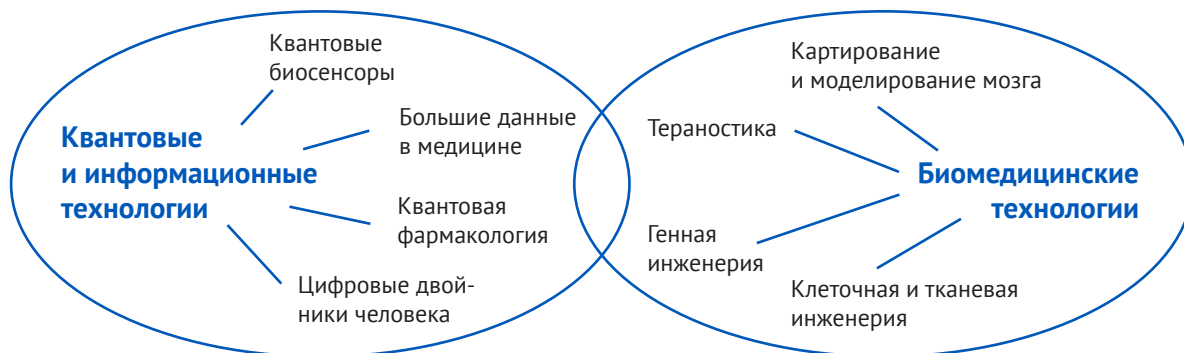
**Ключевые характеристики.** Квантовые сенсоры позволяют измерять различные физические величины. В общем случае ключевыми характеристиками сенсоров являются прецизионность, чувствительность к изменению величины детектируемого сигнала; специфичность к анализируемому сигналу; пространственное и временное разрешение; динамический диапазон; рабочий диапазон (частотный, температурный и т. д.); время отклика или анализа; относительная воспроизводимость частоты (стандарты времени/частоты); возможность многократного использования за счёт регенерации детек-

тирующей поверхности (например, в биосенсорах); энергопотребление; габариты/мобильность; сложность обслуживания и эксплуатации; срок службы; стоимость (капитальные и эксплуатационные затраты).

**Основные вызовы развития технологий и планы к 2040 году:**

- использование различных типов квантовых сенсоров в индустрии и формирование рынка;
- сертификация медицинских квантовых сенсоров;
- продуктовые линейки квантовых магнитометров, гравиметров, гироскопов;
- новые стандарты частоты и времени для систем глобального позиционирования на основе квантовой метрологии;
- использование квантовых сенсоров в системах глобального позиционирования;
- разработка и внедрение сертифицированных квантовых генераторов случайных чисел;
- импортозамещение ключевых компонентов для квантовых сенсоров.

**Рис. 6. Применение квантовых сенсоров**





## ТЕХНОЛОГИИ

Авторский коллектив:

**Д. Р. Белоусов**

Руководитель группы

ЦМАКП, заместитель генерального директора, руководитель направления;

ИНП РАН, заведующий лабораторией; НИУ ВШЭ

**В. И. Артеменко**

НИУ ВШЭ, экономист; ЦМАКП

**М. В. Боргулев**

ЧУ «Наука и инновации», руководитель направления

**П. С. Дорожкин**

«Сколтех», профессор, координатор по перспективным технологиям; ДК ВТН

«Космические системы и услуги»

**А. Р. Ефимов**

ПАО «Сбербанк», руководитель лаборатории

**К. Ю. Зендриков**

ФРИИ, руководитель направления

**А. А. Кривенко**

«ВкусВилл», генеральный директор

**Е. Б. Кузнецов**

ООО «Орбита Капитал Партнёرز», партнёр

**А. К. Пономарев**

«Сколтех», старший вице-президент

**В. А. Сальников**

ЦМАКП, заместитель генерального директора, руководитель направления; ИНП РАН,

член дирекции, заведующий лабораторией; НИУ ВШЭ

**В. В. Сараев**

«Иннопрактика», руководитель направления

**А. К. Фёдоров**

Физтех, профессор; Российский квантовый центр, руководитель научной группы

**И. Э. Фролов**

ИНП РАН, заместитель директора, заведующий лабораторией

**С. С. Черкасов**

АСИ, советник генерального директора, директор дивизиона