



ГАЗПРОМБАНК

Технологический форсайт 2040



Центр аналитики ДАВТ



Карта исследования

От консенсуса технологических прогнозов к выявлению слепых зон до 2040 года

Отчет построен как **движение от устойчивого консенсуса к зонам неопределенности.**

Сначала рассматриваются 10 ключевых технологических направлений и их рыночные траектории, затем проверяется, что прошлые прогнозы увидели верно, что осталось вне поля зрения и какие слепые зоны сегодня формируют потенциальные прорывы к 2040 году.



Содержание

Введение	5
1. Что сегодня говорят о будущем	6-48
1.1. Технологические направления в прогнозах на 2040 год	7
1.2. Мировой рынок по технологическим направлениям	8
1.3. Ключевые технологические направления	9-48
1.3.1. Искусственный интеллект	9-12
1.3.2. Биотехнологии и медицина	13-16
1.3.3. Робототехника и автоматизация	17-20
1.3.4. Перспективная энергетика	21-24
1.3.5. Космические технологии	25-28
1.3.6. Транспорт и мобильность	29-32
1.3.7. Интернет вещей и связь	33-36
1.3.8. Квантовые технологии	37-40
1.3.9. Новые материалы и нанотехнологии	41-44
1.3.10. Блокчейн и распределенные технологии	45-48
2. Технологическая синергия и отраслевые трансформации	49-60
2.1. Взаимовлияние технологий	50-55
2.2. Отраслевые трансформации	56-60
3. Что в прошлом говорили о настоящем	61-80
3.1. Подход к анализу технологических прогнозов 2000-2010	62
3.2. Что сбылось как предсказывали	63-67
3.3. Что превзошло ожидания	68-70
3.4. Что реализовалось частично или в другой форме	71-73 74-76
3.5. Что в прошлом не говорили о настоящем, но оно есть	77-78 79-80
3.6. Анализ точности прогнозов	
4. Что говорят российские форсайты	81-85
4.1. Что сегодня в России говорят о будущем	82-83
4.2. Что в прошлом говорили о настоящем	84-85
5. Что сегодня не говорят про будущее	86-94
5.1. Вероятные слепые зоны сегодня	87-94
5.1.1. Технологический радар	87
5.1.2. Главные кандидаты на внезапный прорыв	88-89
5.1.3. На грани науки и фантастики	90-91
5.1.4. Хардкорная фантастика	92-94
Заключение	95

Введение

2020-е годы характеризуются одновременным ускорением технологических изменений и ростом структурной неопределенности – от геополитики и макроэкономики до климатических и демографических сдвигов. В таких условиях традиционные инструменты планирования, основанные на линейной экстраполяции текущих тенденций, перестают работать: ключевые технологические прорывы возникают на стыке дисциплин, а их эффекты распространяются по экономике и обществу каскадно, нарушая привычные отраслевые границы. Технологический форсайт как систематическое исследование долгосрочных научно-технических и социальных трендов становится необходимым элементом выработки стратегий развития, промышленной политики и инвестиций в человеческий капитал.

Форсайт (от англ. foresight — «предвидение») — это систематический процесс формирования долгосрочного видения будущего в области науки, технологий, экономики и общества. В отличие от прогноза, форсайт не предсказывает единственный сценарий: он структурирует пространство возможных будущих, выявляет ключевые неопределенности и помогает принимать устойчивые решения в условиях высокой турбулентности.

Горизонт настоящего исследования — 2040 год: достаточно далекий, чтобы учесть системные трансформации, и достаточно близкий, чтобы сохранять связь с принимаемыми сегодня инвестиционными и регуляторными решениями.

Особый интерес в горизонте 2040 года представляют технологии системного воздействия. Они способны одновременно перестраивать производственные цепочки, рынки труда, модели потребления, затрагивая даже архитектуру глобальной безопасности.



Центр аналитики ДАВТ Блока технологического лидерства представляет отчет, который обобщает результаты анализа десятков международных и национальных прогнозов, экспертных панелей и отраслевых исследований, посвященных технологическому горизонту до 2040 года. На этой основе выделены десять ключевых технологических направлений – от искусственного интеллекта и биотехнологий до квантовых технологий, новых материалов и распределенных реестров, – для которых оценены масштабы глобальных рынков, траектории зрелости, области воздействия и критические барьеры внедрения.

Задача отчета — не только зафиксировать консенсус экспертного сообщества, но и показать взаимосвязи между технологическими кластерами, а также возможные слепые зоны, где сегодня формируются будущие внезапные прорывы.

Раздел 1

Что сегодня говорят о будущем

**1.1. Технологические направления
в прогнозах на 2040 год**

**1.2. Мировой рынок по технологическим
направлениям**

**1.3. Ключевые технологические
направления**

1.3.1. Искусственный интеллект

1.3.2. Биотехнологии и медицина

1.3.3. Робототехника и автоматизация

1.3.4. Перспективная энергетика

1.3.5. Космические технологии

1.3.6. Транспорт и мобильность

1.3.7. Интернет вещей и связь

1.3.8. Квантовые технологии

1.3.9. Новые материалы и нанотехнологии

1.3.10. Блокчейн и распределенные технологии

Технологические направления в прогнозах на 2040 год

Консолидированный анализ форсайтов выявил устойчивый консенсус в отношении десяти ключевых технологических направлений, которые определяют облик 2040 года. Частота упоминаний технологии в независимых прогнозах служит индикатором уверенности экспертного сообщества. Лидирующие позиции занимают ИИ (228 упоминаний), биотехнологии и медицина (193), а также робототехника и автоматизация (174). Полученные оценки свидетельствуют о том, что траектории развития этих направлений достаточно предсказуемы при текущих темпах инвестиций и исследовательской активности.

График мирового рынка по технологическим направлениям демонстрирует значительную вариативность прогнозируемых темпов роста. Наиболее агрессивные траектории характерны для блокчейна и распределенных технологий (CAGR 29%) и квантовых технологий (22%), что отражает раннюю стадию их коммерциализации и потенциал экспоненциального масштабирования. Вслед за ними идет искусственный интеллект (19%) — наиболее зрелое из «нарождающихся» направлений. В противоположность этому более зрелые направления — такие как перспективная энергетика (11%) и транспорт (10%) — демонстрируют умеренный, но устойчивый рост, обусловленный постепенным замещением существующей инфраструктуры.

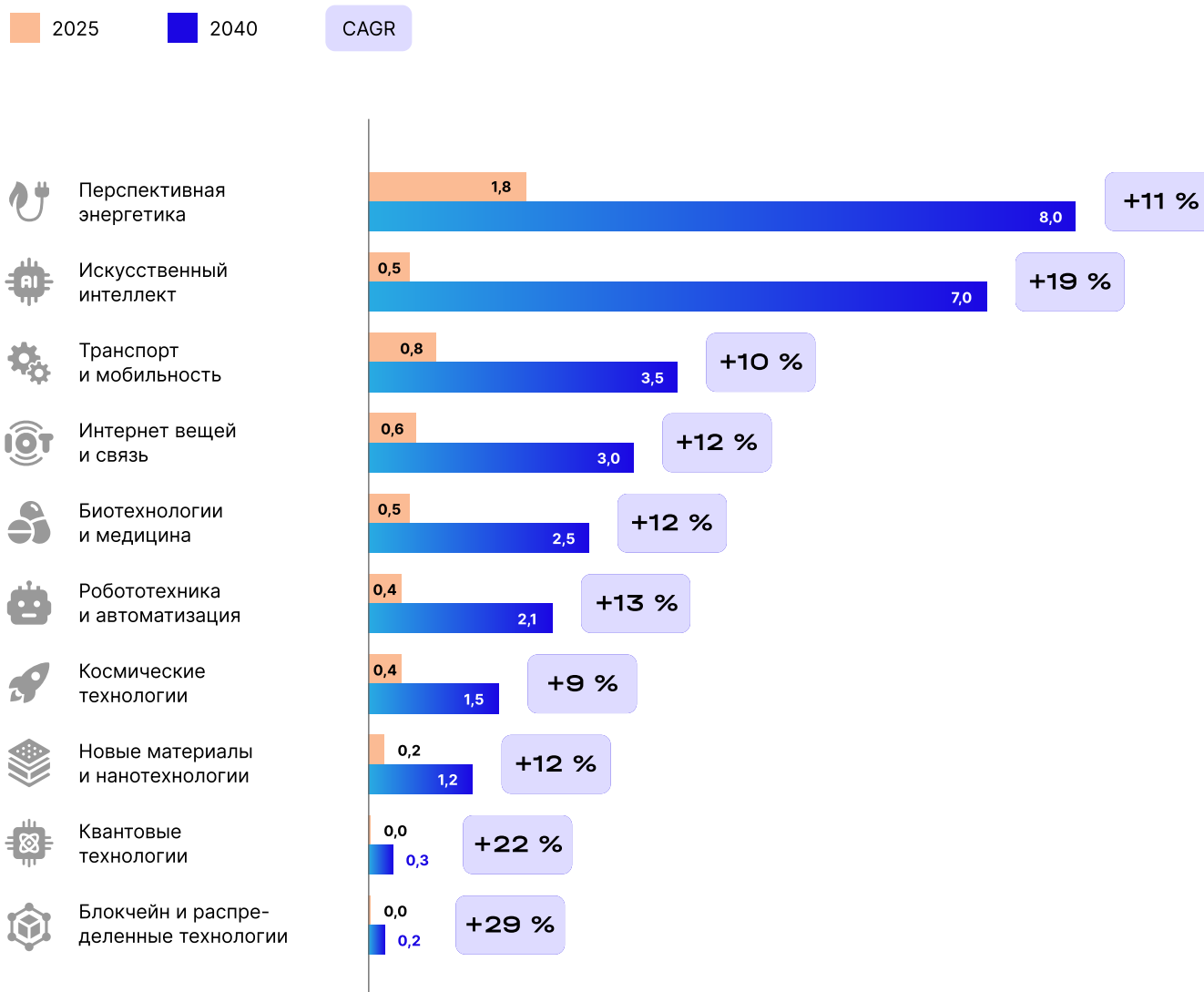
Технологические направления по частоте упоминаний, шт.



* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Мировой рынок по технологическим направлениям

Усредненная оценка (с указанием CAGR), трлн долл.



Границы между технологическими направлениями стремительно размываются: ИИ интегрируется с робототехникой и биотехнологиями, блокчейн — с IoT, а в рамках квантовых технологий появляются сегменты квантового машинного обучения (QML) и квантовой сенсорики для биологических систем.

Наибольшую ценность теперь создают именно кросс-технологические решения, при этом сами рынки находятся на разных стадиях развития. К примеру, энергетика и транспорт относятся к уже сформированным индустриям с устойчивым линейным ростом (CAGR 10–11%), тогда как искусственный интеллект, квантовые технологии и блокчейн переходят от нишевой стадии к фазе массового внедрения — с потенциалом кратного роста в 20–30 раз.

Для государств и корпораций это означает необходимость выстраивать диверсифицированные технологические портфели: сочетать инвестиции в зрелые отрасли (энергетику, транспорт) со ставками на прорывные домены. Именно такая стратегия позволит претендовать на значимую долю будущих рынков, совокупная экономическая ценность которых, по оценкам ведущих консалтинговых компаний, исчисляется несколькими трлн долл. в год.

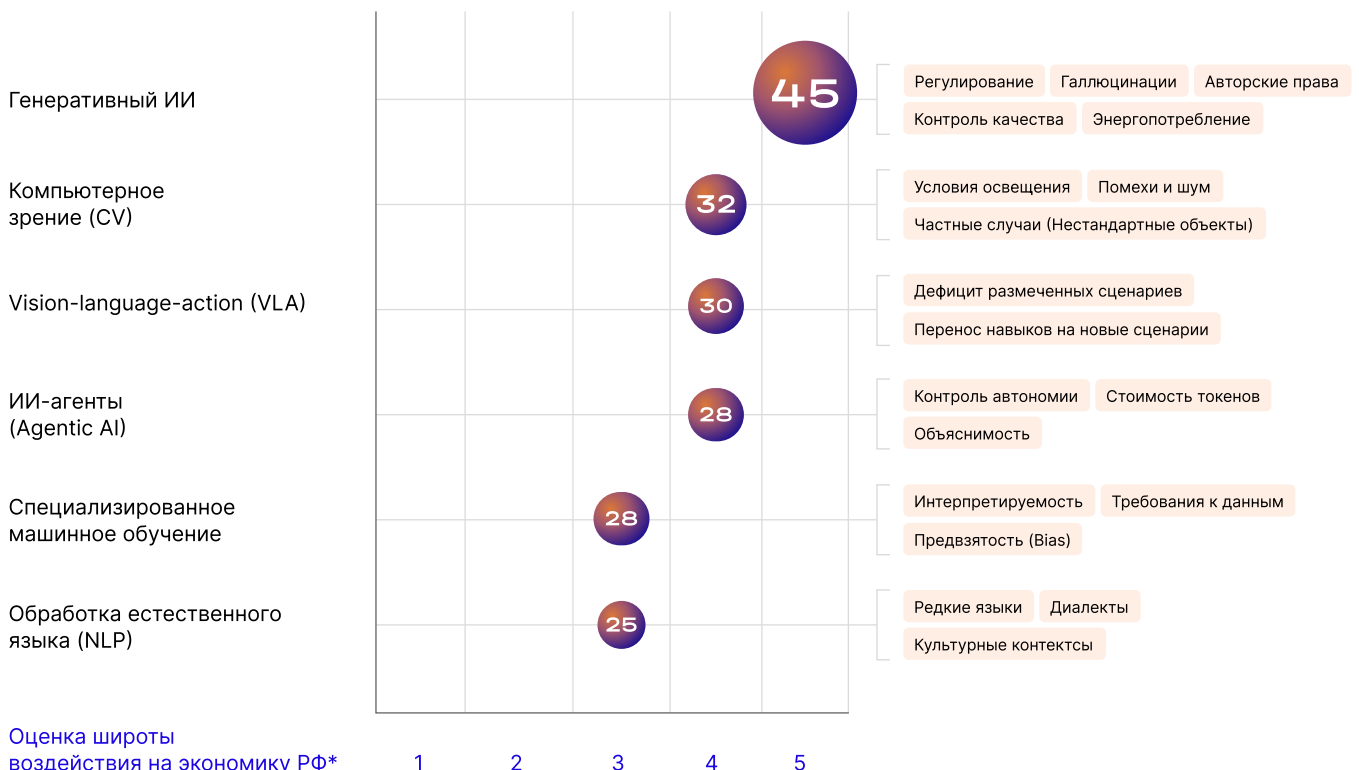
Искусственный интеллект

Искусственный интеллект представлен семью различными подкатегориями, каждая из которых находится на собственной траектории зрелости. Генеративный ИИ, в особенности большие языковые модели (LLM), формирует самый большой рынок в абсолютном выражении, сохраняя высокие темпы роста (CAGR Генеративного ИИ 20%, LLM — 25%) и переходя от исследовательских прототипов к массовому коммерческому применению. Инвестиционная активность в 2024 году подтверждает смещение центра тяжести отрасли: на генеративный ИИ приходится более трети всех вложений в технологии машинного обучения.

Критические вызовы развития ИИ-технологий носят не столько технический, сколько системный характер. Феномен галлюцинаций в больших языковых моделях, чрезмерное энергопотребление при обучении моделей и вопросы авторского права на генеративный контент представляют собой барьеры, которые могут замедлить траектории внедрения.

Примечательно, что ИИ трансформирует не только рутинные операционные роли (колл-центры, младшие аналитики), но и сложные интеллектуальные позиции — аналитиков данных, программистов робототехники, переводчиков. Это подтверждает наблюдение, что автоматизация движется не по линии сложности задачи, а по степени алгоритмизируемости процесса.

Технологии искусственного интеллекта по частоте упоминаний, шт.



* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

Влияет на технологии

Ускоряет	Биотехнологии и медицина
Является ядром	Робототехника и автоматизация
Является ядром	Транспорт и мобильность
Ускоряет	Новые материалы и нанотехнологии
Оптимизирует	Перспективная энергетика
Ускоряет	Космические технологии
Усиливает	Интернет вещей и связь

Зависит от технологий

Интернет вещей и связь	Данные
Робототехника и автоматизация	Данные
Перспективная энергетика	Ресурсы
Транспорт и мобильность	Данные
Новые материалы и нанотехнологии	Аппаратная база

Критические вызовы

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

Промышленность и производительность

Снижает издержки, ускоряет R&D, повышает операционную устойчивость



5

Здравоохранение и качество жизни

Сокращает R&D-циклы и повышает доступность персонализированной медицины



5

Города, транспорт и инфраструктура

Делает инфраструктуру более адаптивной, безопасной и экономичной



5

Безопасность, оборона и суверенитет

Становится фактором технологического суверенитета и новой архитектуры рисков



5

Образование, труд и человеческий капитал

Меняет структуру занятости и требования к навыкам



5

Финансы, госуправление и данные

Повышает скорость управления, но требует новых механизмов доверия и контроля



4

Энергетика, климат и ресурсы

Снижает системные издержки энергоперехода и повышает управляемость ресурсов

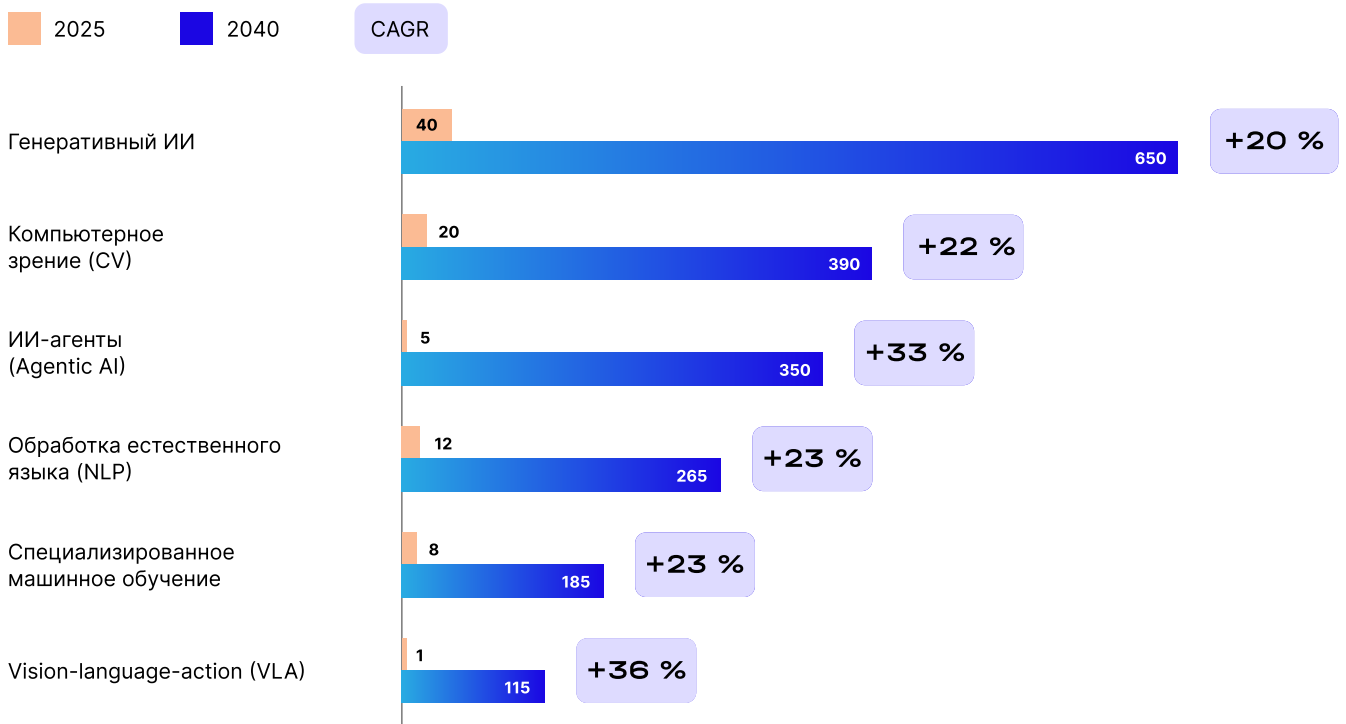


4

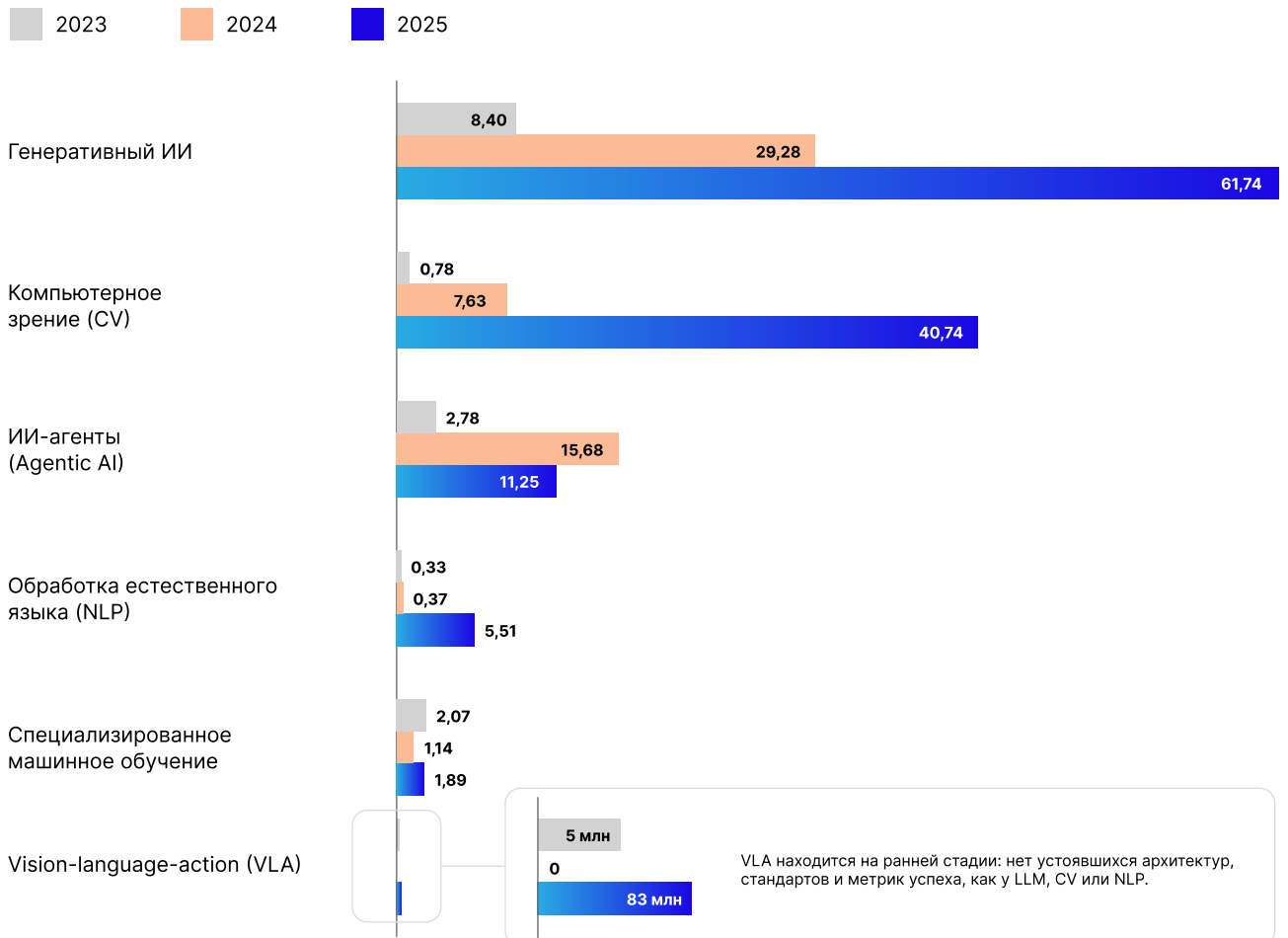
АПК и продовольственная безопасность

Повышает урожайность и устойчивость продовольственных систем

Мировой рынок по технологиям ИИ (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в технологии ИИ за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Генеративный ИИ

#LLM

Гонка фронтальных моделей

В течение одного месяца — в феврале 2026 года — три ведущих лаборатории выпустили флагманские модели: Anthropic запустила Claude Opus/Sonnet 4.6, OpenAI — GPT-5.3-Codex, Google DeepMind — Gemini 3.1 Pro.

Впервые в истории индустрии ни одна из моделей не стала безоговорочным лидером: каждая доминирует в отдельных классах задач, а конкуренция перешла от сравнения параметров к «когнитивной плотности» — объему знаний на единицу вычислений.

К апрелю 2026 года новые модели уже демонстрируют производительность уровня профессионала в 83% категорий интеллектуальной работы, измеряемых бенчмарком GDPval*.



#ИИ-агенты

#LLM

Google DeepMind AlphaEvolve

Агентная система AlphaEvolve, объединяющая большие языковые модели с эволюционными алгоритмами, была развернута внутри инфраструктуры Google. Помимо математических открытий в теории сложности, система работает в постоянном режиме и уже сэкономила 0,7% мировых вычислительных ресурсов компании, а ключевое ядро архитектуры Gemini было ускорено на 23%.

Это первый задокументированный случай, когда ИИ-система устойчиво оптимизирует производственную IT-инфраструктуру гиперскейлера в реальном времени.



#Генеративный ИИ

Суверенный ИИ без NVIDIA

Китайская компания Zhipu AI выпустила GLM-5.1 — модель на 744 млрд параметров (архитектура Mixture-of-Experts), обученную исключительно на чипах Huawei Ascend 910B. По результатам бенчмарков производительность сопоставима с Claude Opus 4.6.

Событие фиксирует структурный сдвиг: суверенные ИИ-стеки, независимые от западной полупроводниковой цепочки поставок, теперь способны воспроизводить фронтальные результаты.

* GDPval (Gross Domestic Product evaluation) — это современный бенчмарк для ИИ, созданный OpenAI (представлен в конце 2025 года) для измерения способности моделей выполнять реальные, экономически значимые профессиональные задачи.

Биотехнологии и медицина

Биотех характеризуется наиболее агрессивными темпами роста среди всех анализируемых секторов. Культивируемое мясо (CAGR 53%), улучшение человека (49%) и биомиметические роботы (46%) демонстрируют траектории, типичные для прорывных инноваций на ранних стадиях S-кривой диффузии — эти сегменты стартуют с минимальной базы и могут вырасти кратно. Базовые платформенные технологии — генное редактирование CRISPR (27%), синтетическая биология (28%) и персонализированная медицина (22%) — растут умеренно, но устойчиво, отражая переход от исследовательской стадии к коммерческому применению. Текущие инвестиционные потоки сконцентрированы в Северной Америке и Европе, однако темпы роста в азиатском регионе указывают на формирование альтернативных центров компетенций.

Ключевое наблюдение касается трансформации биотехнологий из узкоспециализированной медицинской дисциплины в кросс-отраслевую платформу. Синтетическая биология проникает в сельское хозяйство, культивируемое мясо переформирует пищевую индустрию, а биомиметические роботы создают новые гибридные формы инженерии. Этот процесс конвергенции усиливает системные эффекты, но одновременно создает новые регуляторные вызовы. Этические дилеммы геномного редактирования, вопросы биобезопасности в синтетической биологии и проблемы интерпретации геномных данных формируют нормативный ландшафт, который будет определять скорость коммерциализации технологий.

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

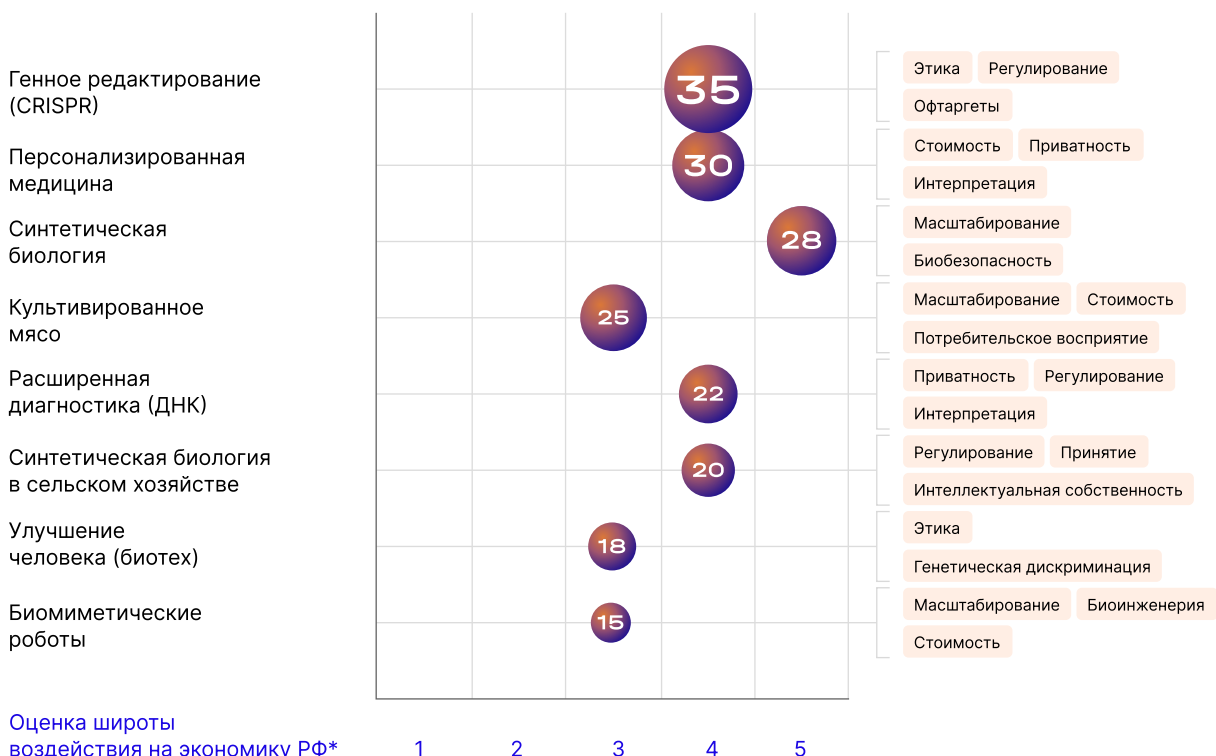
Влияет на технологии

Ускоряет Новые материалы и нанотехнологии

Зависит от технологий

Искусственный интеллект	Ускоряет
Робототехника и автоматизация	Масштабирует
Квантовые технологии	Ускоряет
Новые материалы и нанотехнологии	Расширяет инструменты

Биотехнологии по частоте упоминаний, шт.



Оценка широты воздействия на экономику РФ*

* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Критические вызовы

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

**Здравоохранение
и качество жизни**

Напрямую повышает
продолжительность
и качество жизни



5

**АПК
и продовольственная
безопасность**

Критична
для продовольственной
безопасности в условиях
климата и демографии



4

**Безопасность,
оборона и суверенитет**

Формирует отдельный
контур национальной
и санитарной безопасности



3

**Промышленность
и производительность**

Создает новые производ-
ственные платформы
с меньшей ресурсной
интенсивностью



3

**Энергетика,
климат и ресурсы**

Дополняет
низкоуглеродную
экономику, но не заменяют
энергетическое ядро



3

**Образование, труд
и человеческий
капитал**

Продлевает активную
занятость и меняет
социальную модель
здоровья



2

**Города, транспорт
и инфраструктура**

Усиливает устойчивость
городов, но остается
нишевым драйвером
инфраструктуры

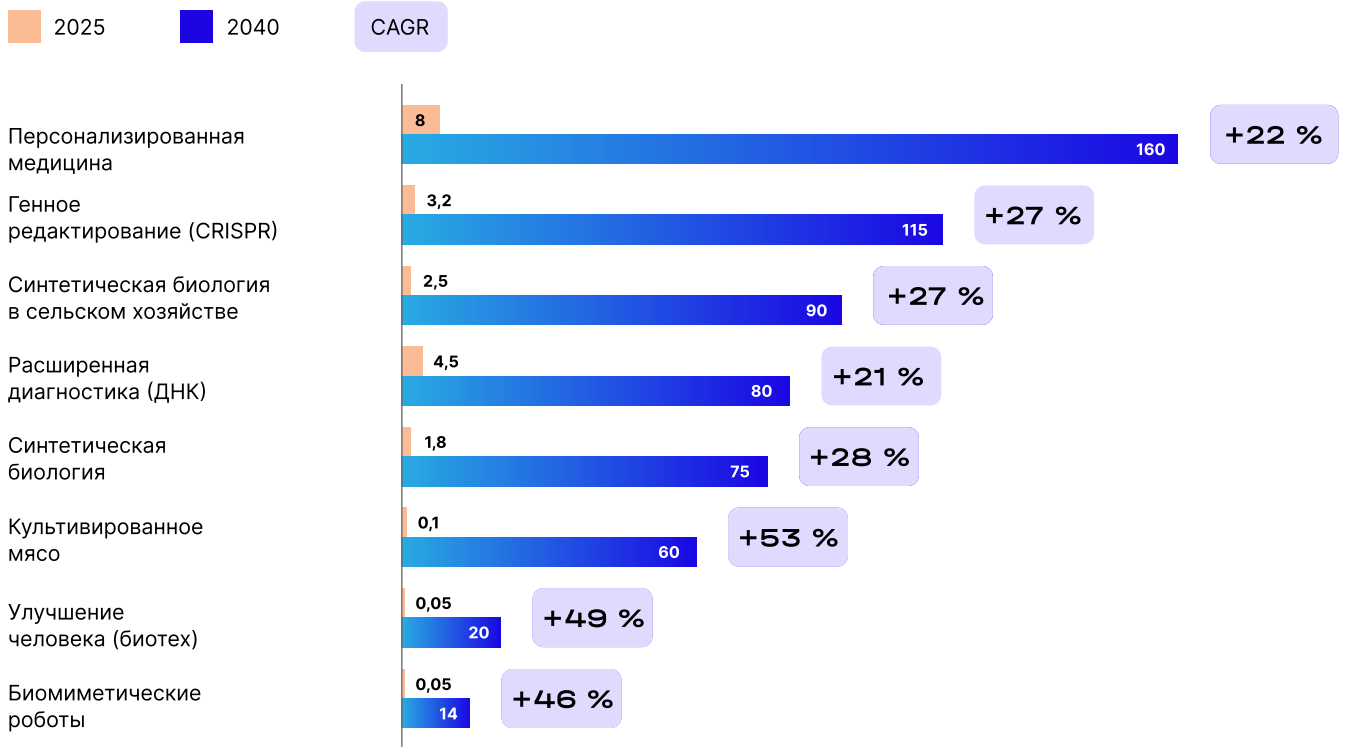


2

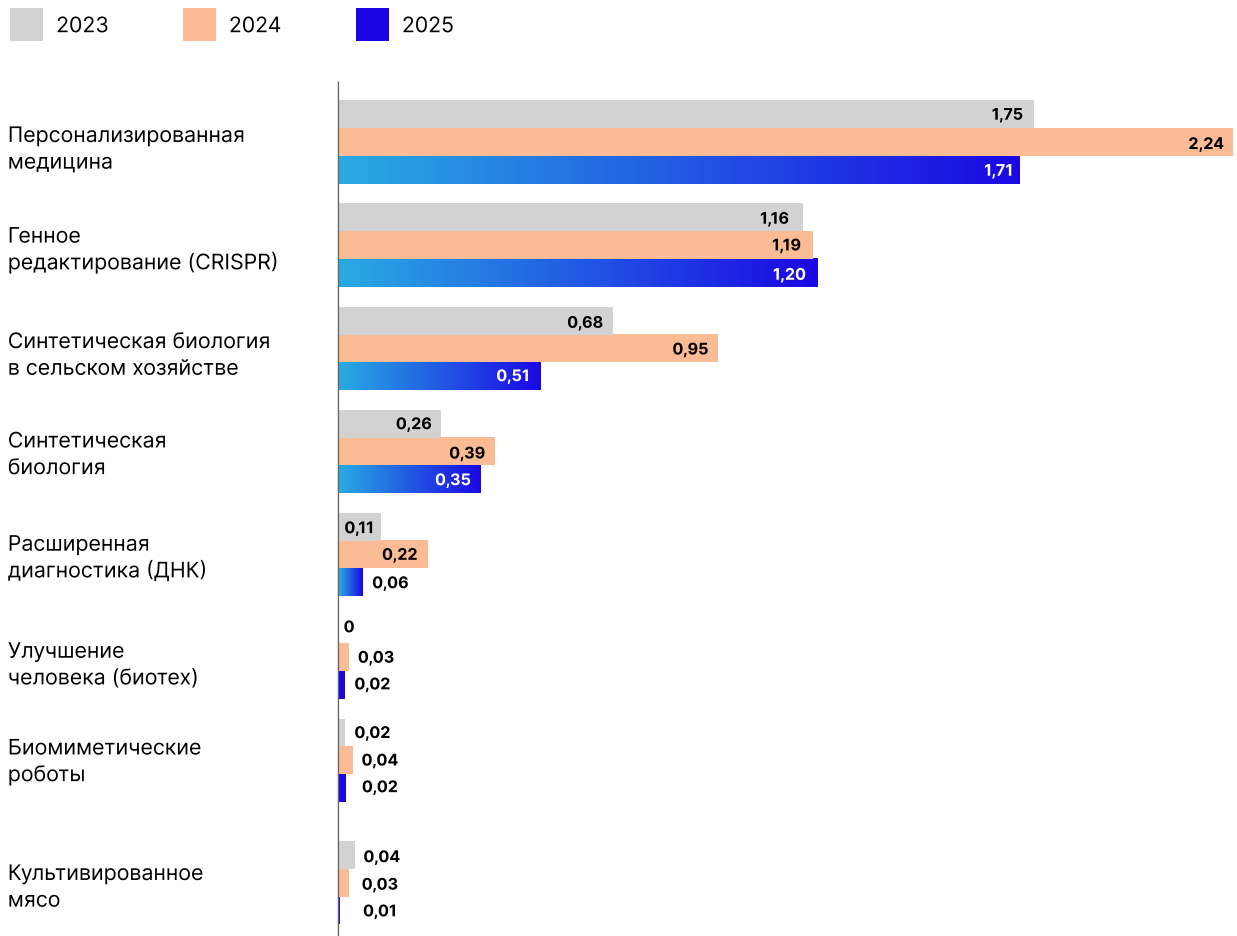
**Финансы,
госуправление
и данные**

Повышает требования
к правовым и доверенным
инфраструктурам

Мировой рынок по биотехнологиям (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в биотехнологии за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Персонализированная медицина

#Генное редактирование (CRISPR)

Персонализированная CRISPR-терапия за 6 месяцев

В 2025 году исследователи разработали и применили индивидуализированную терапию на основе CRISPR-аденинового редактора для младенца с летальным дефицитом карбамоилфосфатсинтетазы 1 (CPS1) — редким нарушением цикла мочевины. Весь цикл — от идентификации мутации до введения препарата — занял шесть месяцев.

Это первый в истории успешный случай применения заказной терапии редактирования оснований *in vivo*.

Событие демонстрирует, что временной разрыв между открытием безвредной мутации и появлением кандидатного препарата резко сокращается.

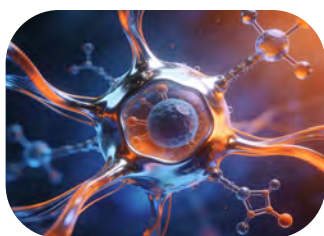


#Генное редактирование (CRISPR)

Casgevy: 5,5 лет устойчивых результатов

Vertex Pharmaceuticals опубликовала долгосрочные данные по 100 пациентам в трех исследованиях фазы III: Casgevy (первая в мире одобренная CRISPR-терапия) демонстрирует устойчивые клинические результаты на горизонте 5,5 лет при серповидноклеточной анемии и 6 лет при бета-талассемии.

Параллельно NICE (Великобритания) в январе 2025 года одобрил препарат от тяжелой серповидноклеточной болезни, а Vertex инициирует глобальные регуляторные заявки для пациентов 5–11 лет в первой половине 2026 года.



#Персонализированная медицина

#Расширенная диагностика ДНК

CAR-T в аутоиммунных заболеваниях

По данным отраслевых обзоров, в 2025 году были получены данные об индукции глубокой ремиссии у пациентов с аутоиммунными заболеваниями (включая СКВ и рефрактерный ревматоидный артрит) при применении CAR-T-терапии — технологии, ранее использовавшейся исключительно в онкологии.

Это расширение терапевтической области фиксирует переход биотехнологий из узкой онкологической ниши в широкую аутоиммунную медицину.

Робототехника и автоматизация

Робототехника демонстрирует разные траектории развития по сегментам. Гуманоидные роботы (CAGR 49%) и экзоскелеты (42%) — наиболее динамичные сегменты, лишь переходящие от исследований к коммерции, что отражает высокую технологическую сложность и пока низкую инфраструктурную готовность рынка. Промышленные роботы с ИИ масштабируются активнее всего в абсолютных объемах (15% при базе \$21 млрд в 2025 году), тогда как рои роботов (30%) и мобильные манипуляторы (37%) занимают среднюю нишу между универсальными гуманоидами и узкоспециализированными промышленными системами.

Ключевым барьером для массового внедрения гуманоидов остается цена свыше \$100 тыс., ограничивающая их нишевыми применениями. Параллельно растут сегменты коллаборативных роботов и мобильных манипуляторов, предлагающих дешевую и специализированную автоматизацию — именно эта конкуренция универсальных и узких решений определит будущую структуру рынка.

В контексте замещения ручного труда робототехникой сильное влияние имеют следующие драйверы: растущий дефицит рабочей силы в развитых и развивающихся странах (в т.ч. в России), ускоряющийся рост заработных плат в обрабатывающей промышленности, непрерывный рост ключевых отраслей применения промышленных роботов, который требует новых инструментов масштабирования.

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

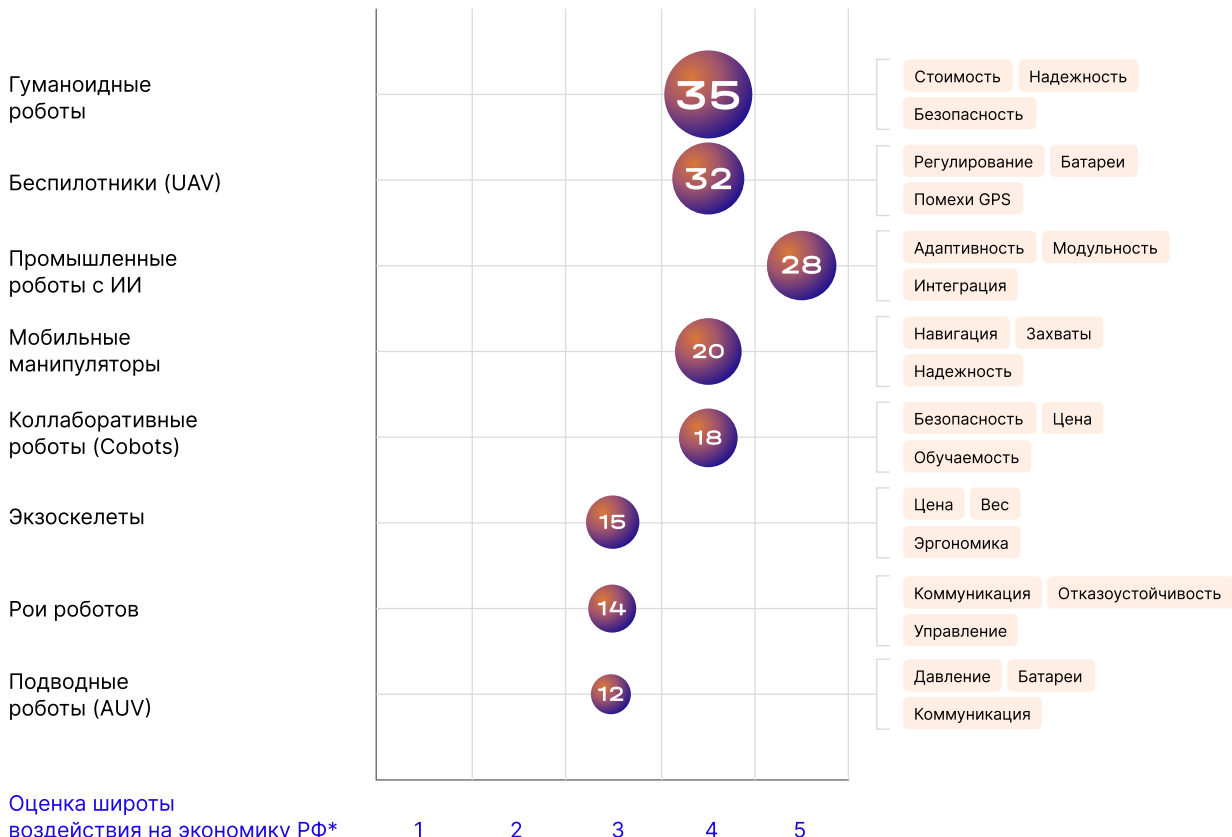
Влияет на технологии

Является ядром	Космические технологии
Сближает рынки	Транспорт и мобильность
Порождает данные	Искусственный интеллект
Масштабирует	Биотехнологии и медицина
Создает спрос	Интернет вещей и связь

Зависит от технологий

Искусственный интеллект	Является ядром
Интернет вещей и связь	Является структурой
Новые материалы и нанотехнологии	Является условием
Космические технологии	Ускоряет
Транспорт и мобильность	Сближает рынки

Робототехника и автоматизация по частоте упоминаний, шт.



Критические вызовы

* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

Промышленность и производительность

Снижает зависимость от дефицитного труда и повышает гибкость производства



5

Города, транспорт и инфраструктура

Делает городскую инфраструктуру более автоматизированной и доступной 24/7



5

Безопасность, оборона и суверенитет

Создает новую архитектуру безопасности и требования к контрроболическим системам



4

Здравоохранение и качество жизни

Снижает нагрузку на персонал и повышает доступность качественной помощи



4

АПК и продовольственная безопасность

Снижает трудозависимость АПК и повышает точность использования ресурсов



4

Образование, труд и человеческий капитал

Требует массового переобучения и новой модели работы человека с машинами



3

Энергетика, климат и ресурсы

Снижает операционные риски и стоимость обслуживания активов

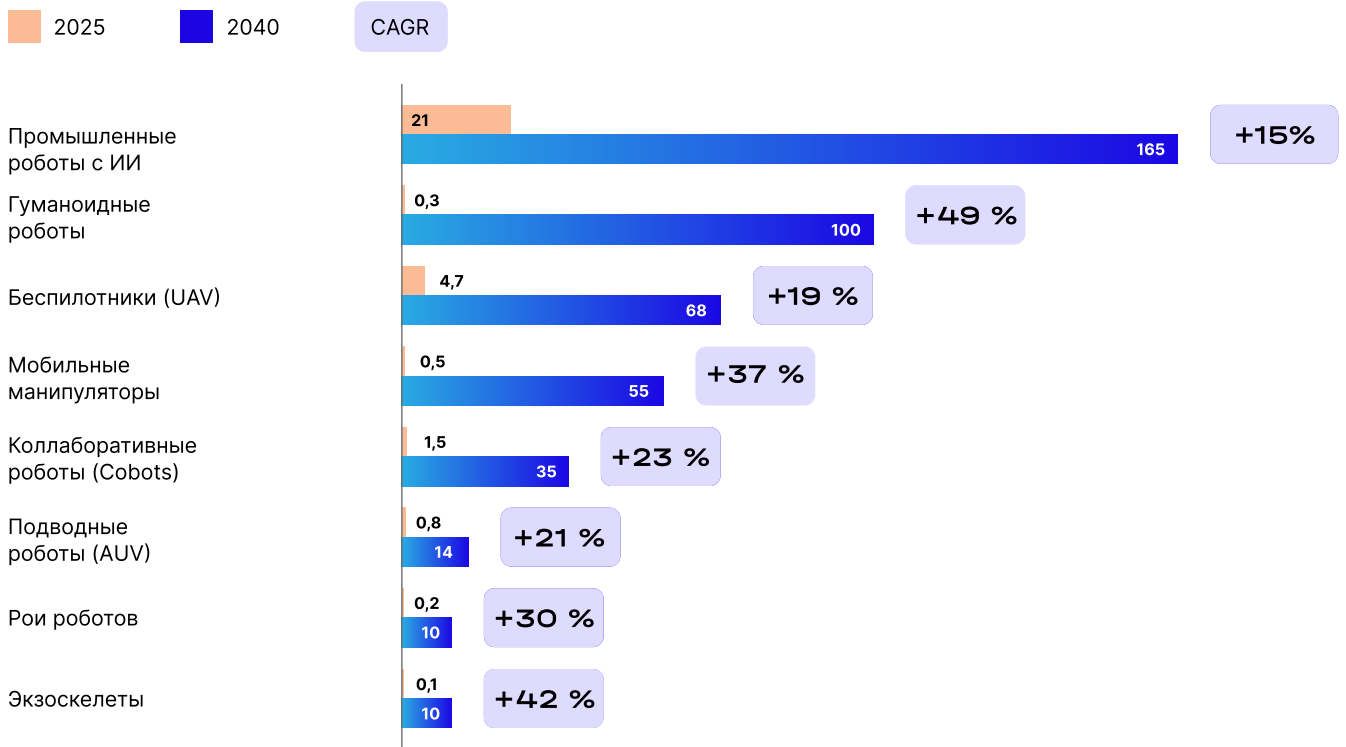


2

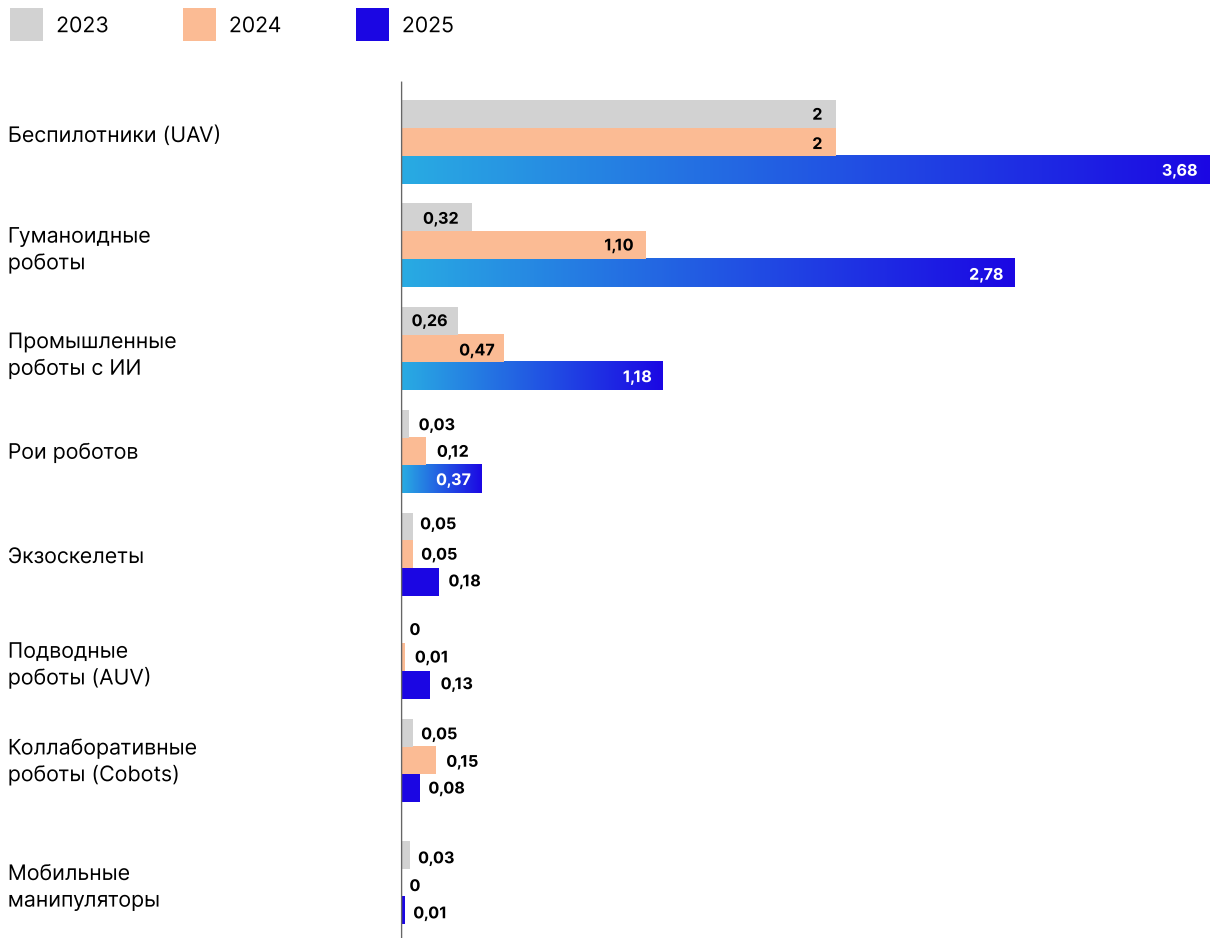
Финансы, госуправление и данные

Влияет на регулирование, но не является главным драйвером финансово-государственных систем

Мировой рынок робототехники и автоматизации (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в робототехнику и автоматизацию за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Гуманоидные роботы

#Промышленные роботы с ИИ

Tesla Optimus: 1 000 роботов в собственном производстве

По состоянию на начало 2026 года Tesla развернула более 1 000 роботов Optimus на собственных производственных объектах. Роботы выполняют реальные производственные задачи — в том числе секвенирование автокомпонентов.

Tesla планирует произвести до 100 000 единиц в 2026 году. Это крупнейшее на сегодняшний день промышленное развертывание гуманоидных роботов одной компании.



#Гуманоидные роботы

#Промышленные роботы с ИИ

Agility Robotics Digit: 1 000 роботов в сети Amazon (объявление 2025–2026)

Agility Robotics объявила о партнерстве с Amazon по развертыванию 1 000 двуногих роботов Digit на пяти крупных складских центрах выполнения заказов к концу 2026 года. Роботы заменяют ручной труд на повторяющихся операциях с контейнерами.

Это объявление зафиксировало переход гуманоидной робототехники из фазы пилотов к первому по-настоящему промышленному масштабному внедрению в логистике.



#Гуманоидные роботы

Рынок гуманоидных роботов: 610 инвестиционных сделок за три квартала

Только в Китае за первые три квартала 2025 года было заключено более 610 инвестиционных сделок в робототехнике на сумму около 50 млрд юаней — рост на 250% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года.

UBTECH получил \$1 млрд стратегического финансирования; совокупный портфель заказов компании в 2025 году превысил 1,3 млрд юаней. Goldman Sachs прогнозирует рост рынка гуманоидных роботов до \$38 млрд к 2035 году.

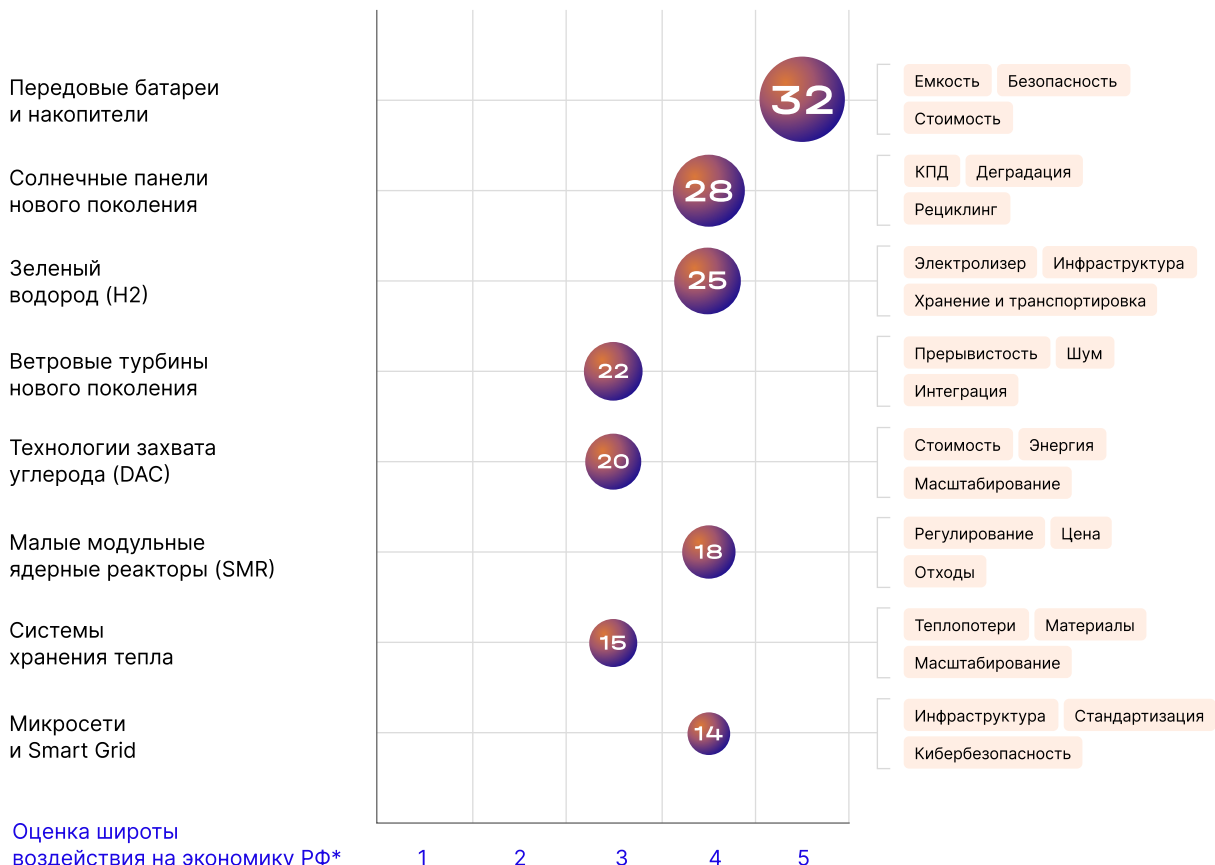
Перспективная энергетика

Энергетический сектор сохраняет устойчивый рост, отражающий капиталоемкость и инерционность отрасли. Наиболее динамично развиваются зеленый водород (CAGR 44%), малые модульные ядерные реакторы — SMR (41%) и технологии захвата углерода — DAC (27%) как технологии ранней стадии коммерциализации со значительным потенциалом масштабирования. Передовые батареи и накопители (14%), солнечные панели нового поколения (13%) и ветровые турбины (6%) демонстрируют более умеренный рост — в силу уже достигнутой зрелости рынка и насыщения спроса в ведущих экономиках.

Ключевые барьеры развития носят инфраструктурный характер: водородная экономика требует дешевых электролизеров и сетей распределения, малые модульные реакторы — адаптации нормативной базы, а улавливание углерода остается нерентабельным при стоимости 600 \$/т CO₂.

Постепенно вытесняются литий-ионные батареи, серый водород, кремниевые панели первого поколения и крупные ядерные реакторы — не за счет резкого технологического прорыва, а благодаря росту эффективности и снижению затрат новых поколений технологий.

Технологии перспективной энергетики по частоте упоминаний, шт.



* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

Влияет на технологии

Является ядром	Транспорт и мобильность
Обеспечивает ресурс	Искусственный интеллект
Поддерживает	Космические технологии
Является условием	Квантовые технологии
Создает спрос	Новые материалы и нанотехнологии

Зависит от технологий

Транспорт и мобильность	Формирует спрос
Новые материалы и нанотехнологии	Является ядром
Искусственный интеллект	Оптимизирует
Интернет вещей и связь	Является инфраструктурой
Квантовые технологии	Ускоряет
Блокчейн и DLT	Создает рынок

Критические вызовы

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

Промышленность и производительность

Определяет конкурентоспособность энергоемких отраслей



5

Энергетика, климат и ресурсы

Ключевой слой декарбонизации и ресурсной эффективности



5

Города, транспорт и инфраструктура

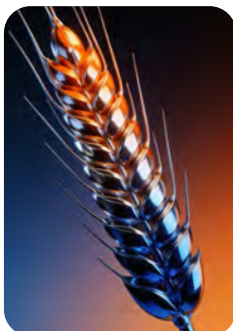
Задаёт стоимость и масштабируемость новой городской инфраструктуры



5

Безопасность, оборона и суверенитет

Снижает стратегическую уязвимость экономики и инфраструктуры



4

АПК и продовольственная безопасность

Снижает потери и повышает устойчивость продовольственных цепочек



4

Финансы, госуправление и данные

Становится одним из центров финансовой регуляторной трансформации



3

Здравоохранение и качество жизни

Повышает устойчивость критической социальной инфраструктуры

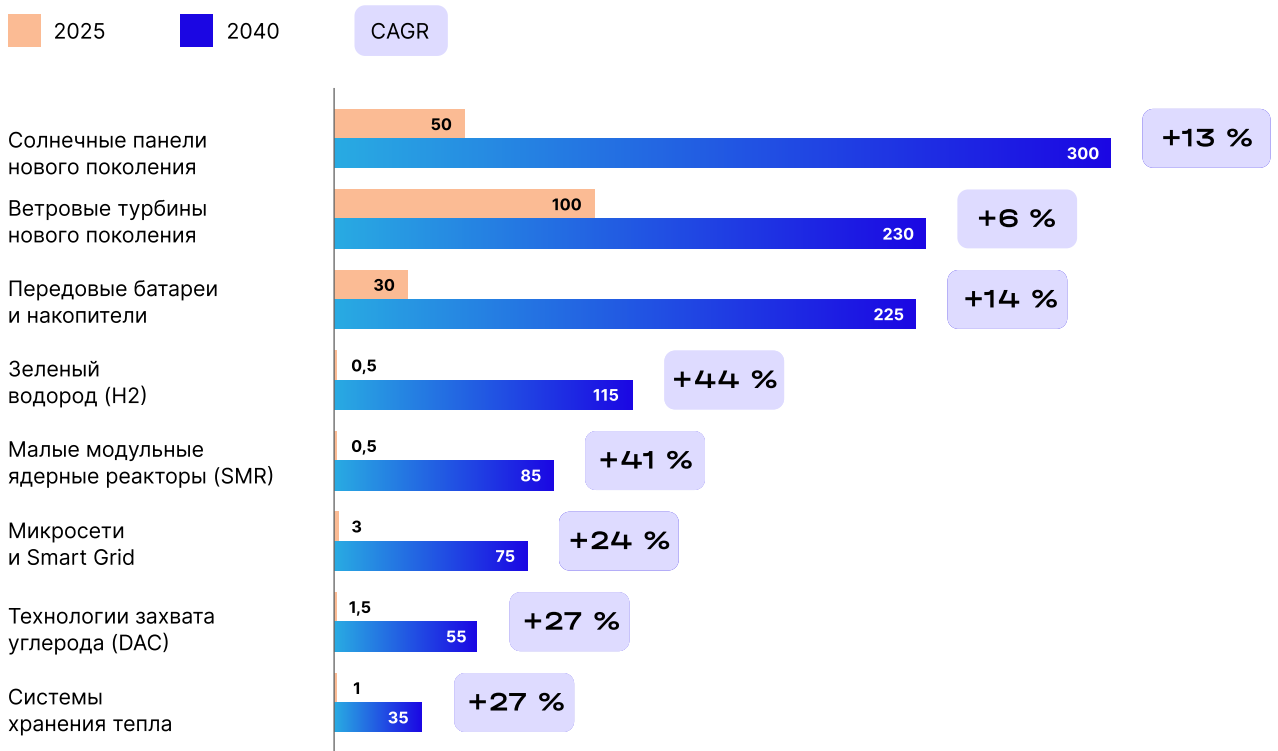


3

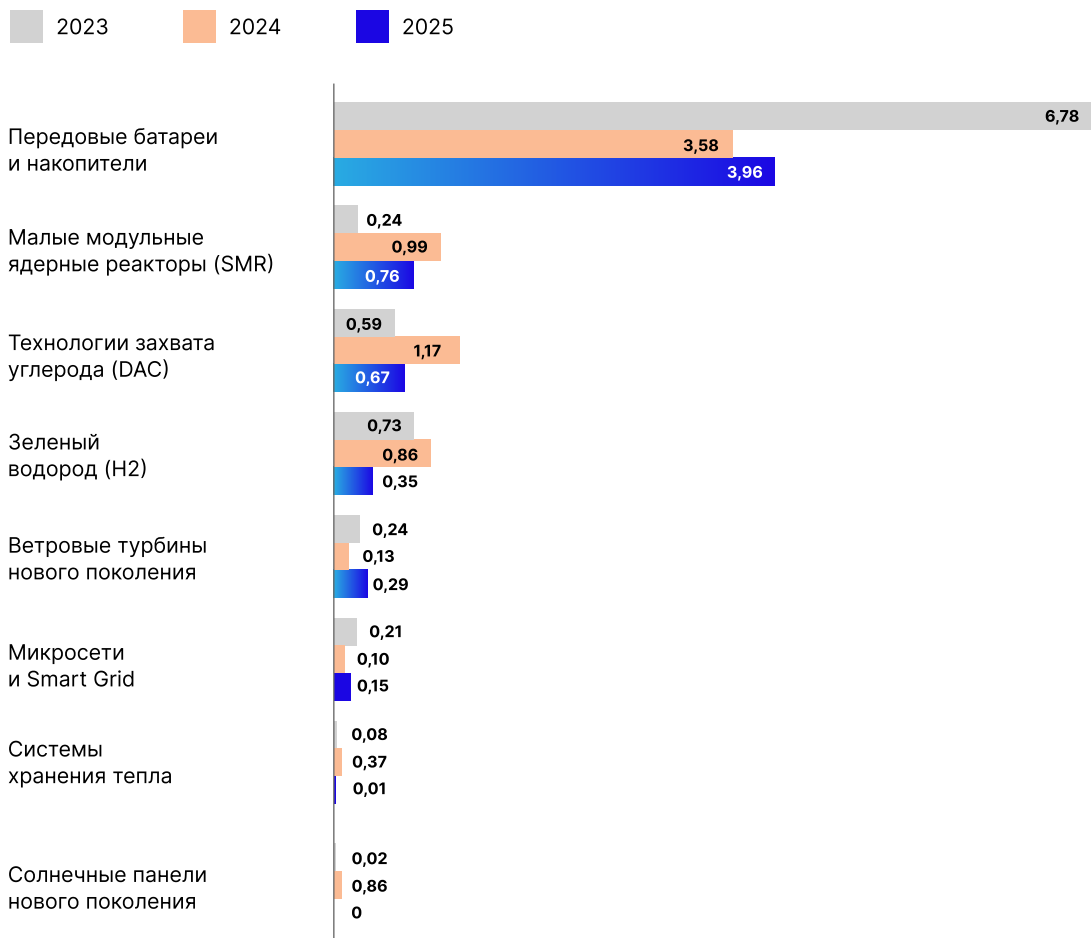
Образование, труд и человеческий капитал

Меняет рынок труда в энергетике, промышленности и строительстве

Мировой рынок по технологиям перспективной энергетики (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в технологии перспективной энергетики за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Термоядерный синтез

NIF: воспроизводимое термоядерное зажигание

Национальный комплекс зажигания (NIF, США) перешел от единичного прорыва 2022 года к режиму «воспроизводимого зажигания»: к началу 2026 года успешный процесс повторен более 10 раз. Рекордный выход энергии зафиксирован в апреле 2025 года — 8,6 МДж при 2,08 МДж подведенной лазерной энергии (коэффициент усиления >4).

Физическая состоятельность инерциального термоядерного синтеза доказана в режиме серийного производства; следующий вызов — инженерное масштабирование.



#Ветровые турбины
нового поколения

#Солнечные панели
нового поколения

Рекорд возобновляемой энергетики: 814 ГВт за один год

По данным аналитической платформы Ember, опубликованным в марте 2026 года, в 2025 году мир установил рекордные 814 ГВт новых мощностей солнечной и ветровой генерации — на 17% больше, чем годом ранее. Суммарная мощность этих источников достигла 4 174 ГВт (свыше 4 тераватт).

Прирост одного лишь 2025 года способен ежегодно замещать около одной седьмой мирового газового производства и экономить порядка \$138 млрд на импорте ископаемого топлива.

Это не прогноз — это зафиксированная статистика, которая подтверждает: энергетический переход разворачивается быстрее консенсусных оценок трехлетней давности.



#Термоядерный синтез

ITER: сверхпроводящие магниты завершены, сборка идет по графику

В марте 2026 года проект ITER отчитался о достижении одного из ключевых конструктивных рубежей: все сверхпроводящие магниты токамака изготовлены и находятся на площадке, сборка камеры ведется в соответствии с планом Baseline 2024.

Руководство проекта охарактеризовало темп работ как «наилучший за всю историю проекта». ITER строится консорциумом 35 государств и должен стать первым термоядерным реактором, производящим больше энергии, чем потребляет; старт первых экспериментов с водородной и дейтериевой плазмой запланирован на конец 2020-х.

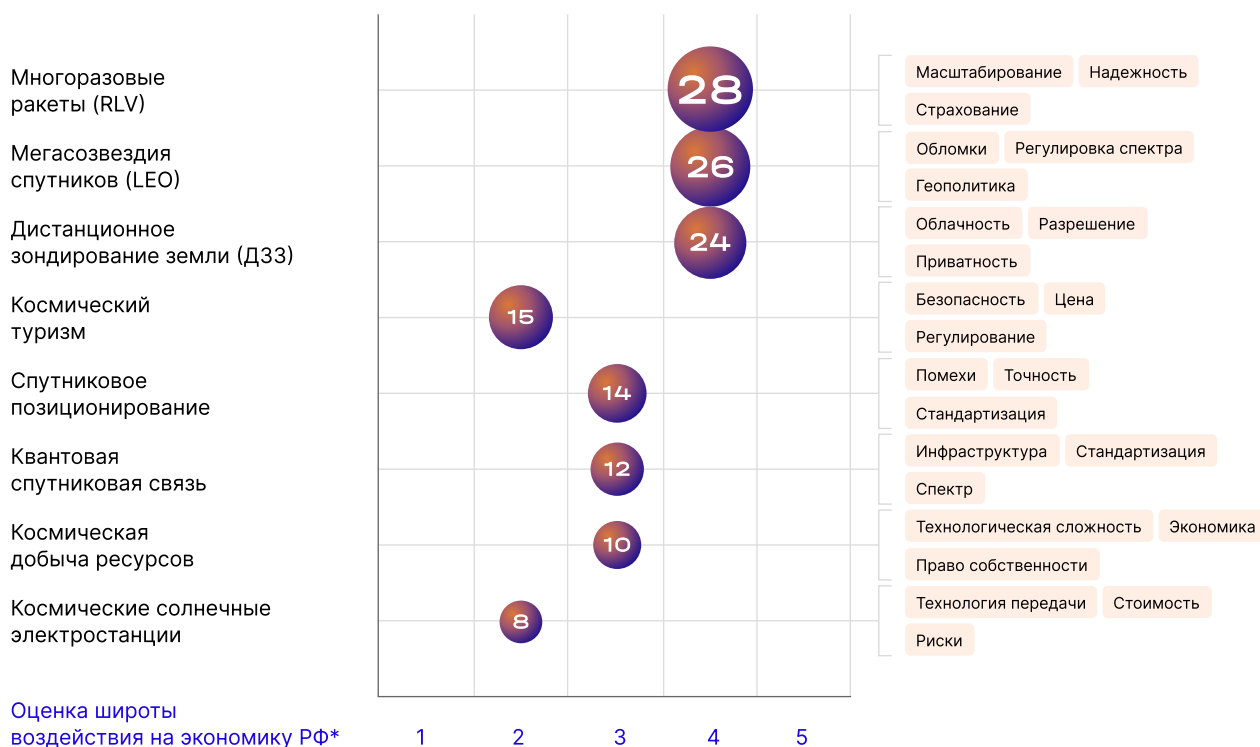
Космические технологии

Космический сектор показывает высокие темпы роста среди инфраструктурных направлений с заметной дифференциацией по зрелости. Наиболее агрессивные траектории характерны для технологий ранней стадии: космических солнечных электростанций (CAGR 71%), космической добычи ресурсов (65%) и квантовой спутниковой связи (62%) — рынков, стартующих практически с нуля. Уже сформировавшиеся коммерческие сегменты — мегасозвездия спутников (17%), многоразовые ракеты (17%) и дистанционное зондирование Земли (15%) — растут умереннее, но на несравнимо более высокой базе, отражая зрелость бизнес-моделей. Космический туризм занимает промежуточную позицию (40%) благодаря радикальному снижению стоимости выведения груза на орбиту, созданному успехом многоразовых ракетных систем.

Мегасозвездия низкоорбитальных спутников меняют глобальную инфраструктуру связи, создавая альтернативу наземным сетям, но формируют риски космического мусора, спектрального регулирования и геополитической конкуренции. Вытесняются одноразовые ракеты, наземная инфраструктура связи, классическая RSA-криптография (через квантовую связь) и традиционное GPS-позиционирование.

Критический барьер для космического туризма — ценовой порог выше 650 тыс. долл.** на человека — будет определять темпы перехода от эксклюзивных полетов к массовому рынку. Траектория снижения стоимости зависит от масштабирования производства многоразовых систем и развития орбитальной инфраструктуры.

Космические технологии по частоте упоминаний, шт.



* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

** Суборбитальный полет в 2026 году обойдется от 650 тыс.\$ (Blue Origin) до 750 тыс.\$ (Virgin Galactic)

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

Влияет на технологии

Расширяет покрытие	Интернет вещей и связь
Ускоряет	Робототехника и автоматизация
Масштабирует	Квантовые технологии

Зависит от технологий

Робототехника и автоматизация	Является ядром
Новые материалы и нанотехнологии	Является условием
Искусственный интеллект	Ускоряет
Перспективная энергетика	Поддерживает
Интернет вещей и связь	Создает спрос
Квантовые технологии	Усиливает

Критические вызовы

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

**Энергетика,
климат и ресурсы**

Дает доказательную базу для климатического управления и ресурсной безопасности



5

**Безопасность,
оборона и суверенитет**

Становится критическим слоем суверенитета и обороны



4

**Города, транспорт
и инфраструктура**

Повышает точность и устойчивость городских транспортных систем



4

**АПК
и продовольственная
безопасность**

Позволяет управлять продовольственными рисками на региональном и национальном уровне



3

**Промышленность
и производительность**

Повышает прозрачность и управляемость распределенных производственных систем



3

**Финансы,
госуправление
и данные**

Повышают качество надзора, страхования и принятия решений



2

**Здравоохранение
и качество жизни**

Повышает доступность услуг в удаленных регионах, но не является главным драйвером медицины

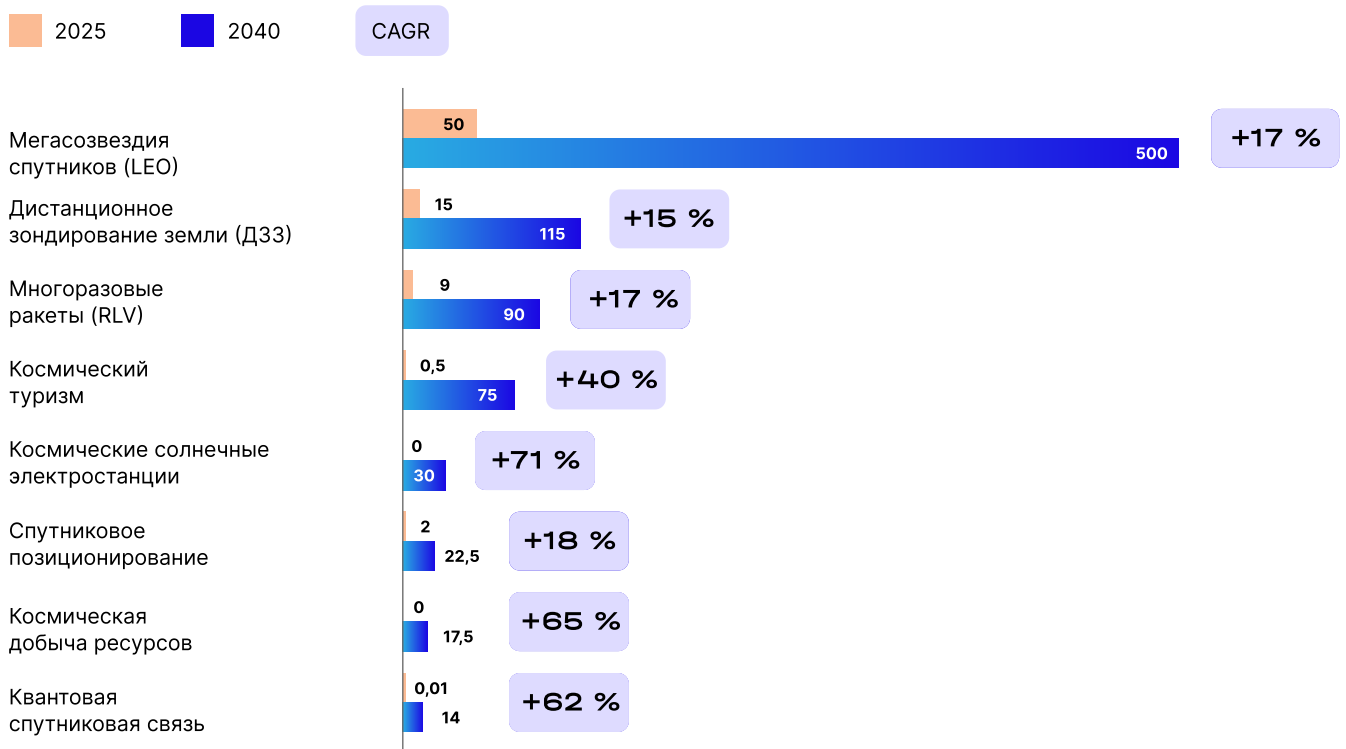


2

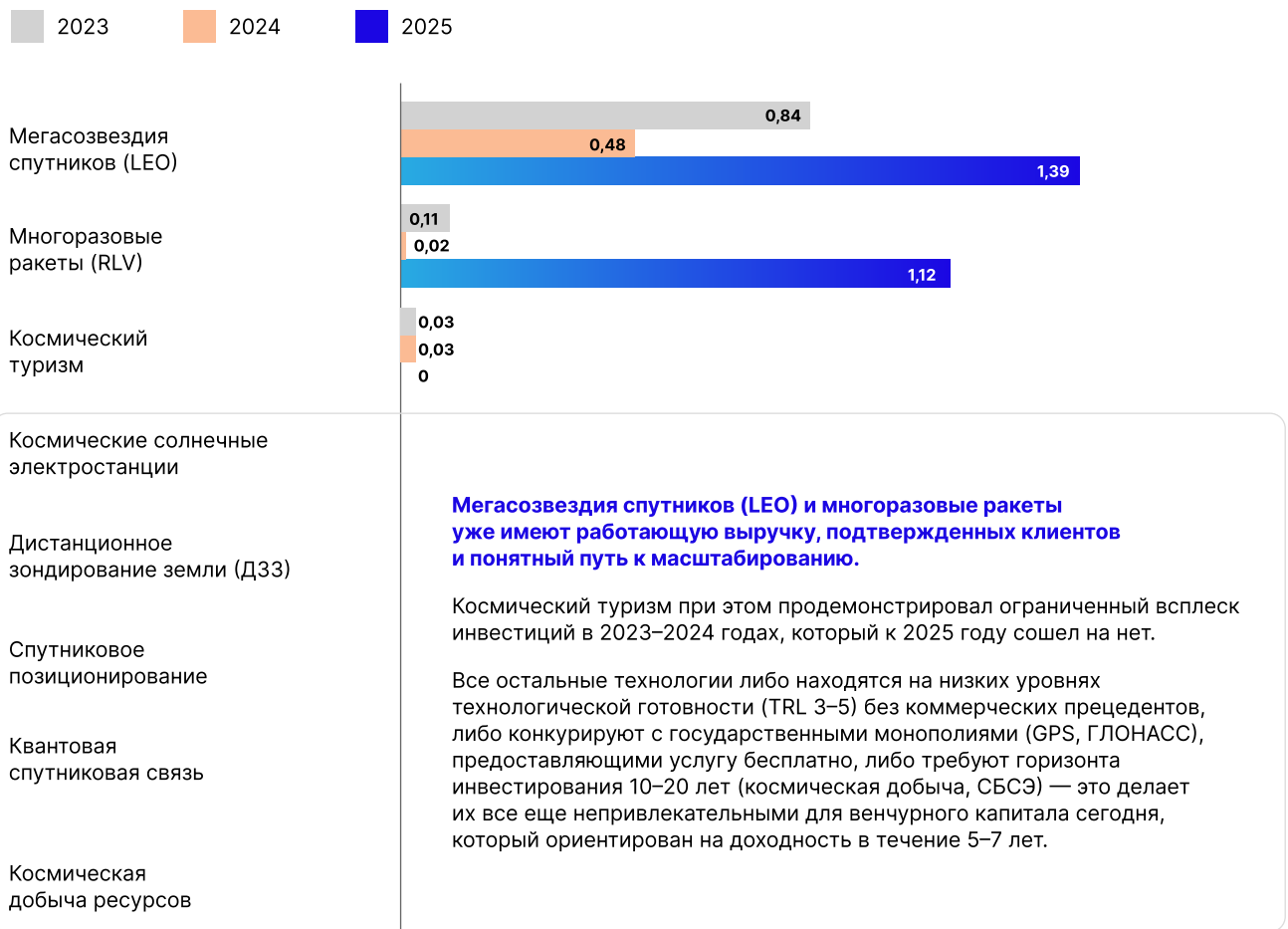
**Образование, труд
и человеческий
капитал**

Влияние есть, но преимущественно косвенное

Мировой рынок по космическим технологиям (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в космические технологии за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Дальше от Земли

Artemis II: первые люди у Луны за 54 года

1 апреля 2026 года NASA запустила миссию Artemis II — первый пилотируемый облет Луны с момента Apollo 17 в 1972 году. Четыре астронавта (трое от NASA, один от CSA) провели 10 дней на борту корабля Orion, совершив петлю вокруг Луны, и 10 апреля успешно привелись в Тихом океане.

Миссия прошла после двух отложенных попыток (утечка водорода в феврале и проблема с гелием в марте), что само по себе отражает сложность инфраструктурного масштабирования в пилотируемой космонавтике. Следующий шаг — Artemis III с реальной посадкой на Луну, которую NASA планирует на 2027 год.

В совокупности со Starship, Starlink и коммерческими игроками это фиксирует: космос впервые за полвека снова становится пространством активного присутствия человека, а не только орбитальной инфраструктуры.



#Многоразовые ракеты

Starship: 11 тестовых полетов и переход к лунной программе

В 2025 году SpaceX провела пять тестовых полетов многоразовых ракет Starship (8–11-й по счету). Полет 10 (26 августа 2025 года) стал «наиболее успешным и значимым в истории программы»: оба компонента успешно привелись, впервые были развернуты симуляторы спутников Starlink, а тепловой экран выдержал повторный вход.

Полет 11 (октябрь 2025 года) полностью подтвердил эти результаты. В 2026 году программа сосредоточена на орбитальной дозаправке — ключевом условии для лунной миссии Artemis III и возможной отправки на Марс.



#Мегасозвездия спутников

Мегасозвездия: Starlink обеспечивает интернет на краю света

К середине 2025 года Starlink насчитывал более 6 000 активных спутников и обслуживал свыше 4 миллионов абонентов в более чем 100 странах, включая полярные регионы, дистанционные океанические зоны и зоны конфликтов. Параллельно Amazon Kuiper вышел на стадию коммерческого бета-тестирования.

Конкуренция мегасозвездий фактически создает новый глобальный слой связи, не зависящий от наземной инфраструктуры.

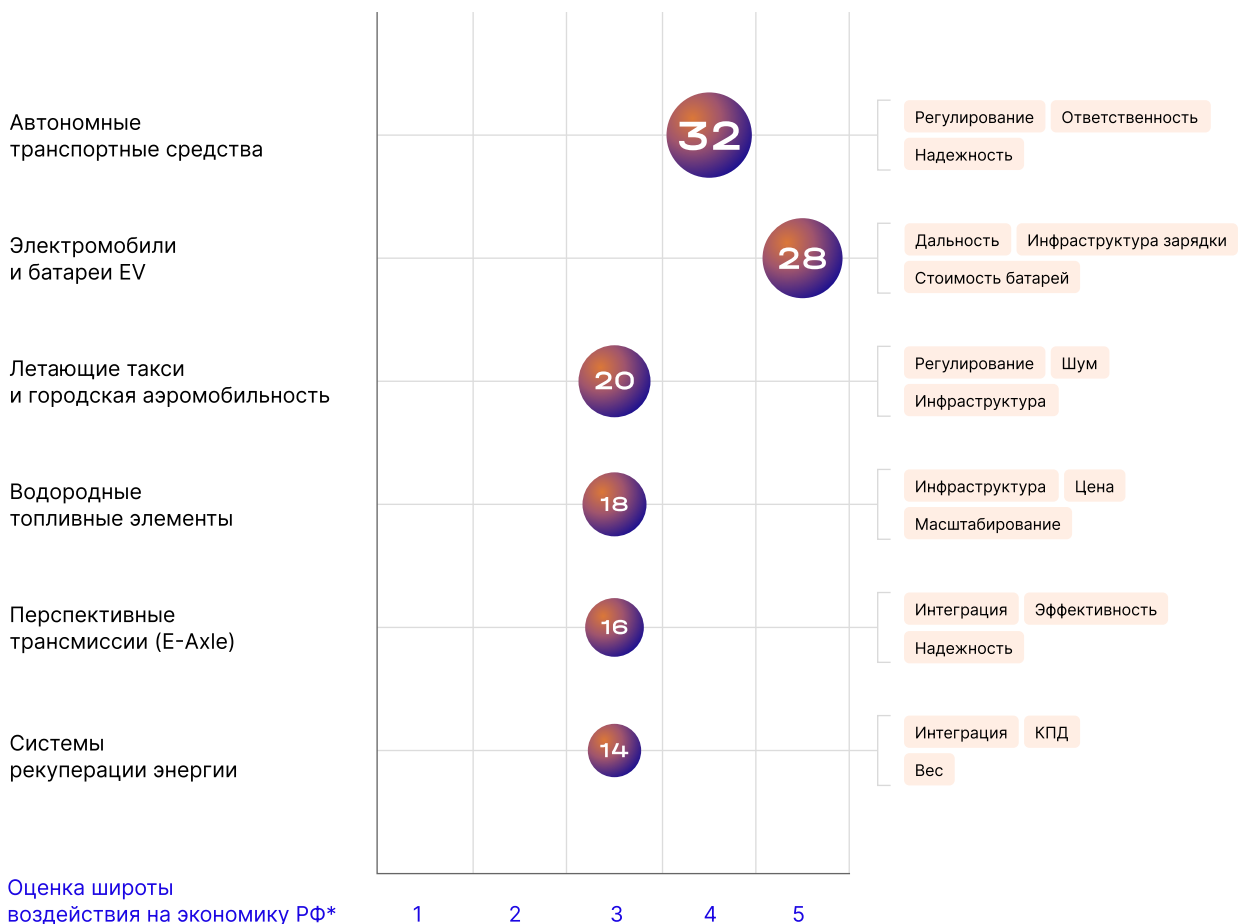
Транспорт и мобильность

Сектор переживает структурный сдвиг: автопилотируемые транспортные средства, электромобили с новыми типами батарей, летающие такси и водородные топливные элементы все чаще рассматриваются как взаимосвязанный кластер. Наиболее агрессивные траектории характерны для летающих такси и городской аэромобильности (CAGR 58%) и водородных топливных элементов (37%) — технологий ранней коммерциализации. Автономные транспортные средства демонстрируют активный рост (21%), тогда как электромобили, уже ставшие массовым рынком, растут умеренно (12%) — наблюдаемая закономерность характерна для зреющих платформенных технологий, где ядро трансформации создает тягу для смежных компонентов.

Ключевое наблюдение касается перехода от модели владения автомобилем к «мобильности как сервису», где цифровая инфраструктура, данные и алгоритмы управления трафиком становятся не менее важны, чем сами транспортные средства. На уровне рынка труда под давлением оказываются прежде всего дальнбойщики, таксисты и механики ДВС — профессии, напрямую связанные с управлением и обслуживанием двигателей внутреннего сгорания. Это коррелирует с международными оценками влияния автономных и электрических систем на занятость в транспортной отрасли.

Критические вызовы направления носят преимущественно инфраструктурный и регуляторный характер: электромобильность упирается в дальность пробега, инфраструктуру зарядки и стоимость батарей; автономный транспорт — в распределение юридической ответственности при авариях; водородные технологии — в капиталоемкость заправочной сети и отсутствие разветвленной инфраструктуры. Таким образом, технологический прогресс в мобильности становится одновременно ключевым инструментом декарбонизации и источником глубоких институциональных изменений — от страхования до градостроительной политики.

Технологии в секторе транспорта и мобильности по частоте упоминаний, шт.



* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

Влияет на технологии

Формирует спрос	Перспективная энергетика
Порождает данные	Искусственный интеллект
Сближает рынки	Робототехника и автоматизация
Создает спрос	Интернет вещей и связь
Создает спрос	Новые материалы и нанотехнологии

Зависит от технологий

Искусственный интеллект	Является ядром
Робототехника и автоматизация	Сближает рынки
Перспективная энергетика	Является ядром
Интернет вещей и связь	Является инфраструктурой
Новые материалы и нанотехнологии	Является ядром
Блокчейн и DLT	Повышает прозрачность

Критические вызовы

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

**Энергетика,
климат и ресурсы**

Один из главных рычагов декарбонизации и новой нагрузки на энергосистему



5

**Города, транспорт
и инфраструктура**

Определяет новую конфигурацию городской жизни и инфраструктуры



4

**Промышленность
и производительность**

Снижает транзакционные и логистические издержки экономики



4

**Безопасность,
оборона и суверенитет**

Создает критические зависимости в кризисных сценариях



3

**Здравоохранение
и качество жизни**

Повышает доступность услуг и снижает социальные потери от аварий и загрязнения



3

**АПК
и продовольственная
безопасность**

Снижает потери и повышает устойчивость поставок еды



3

**Образование, труд
и человеческий
капитал**

Расширяет доступ к возможностям, но может усиливать географическое неравенство

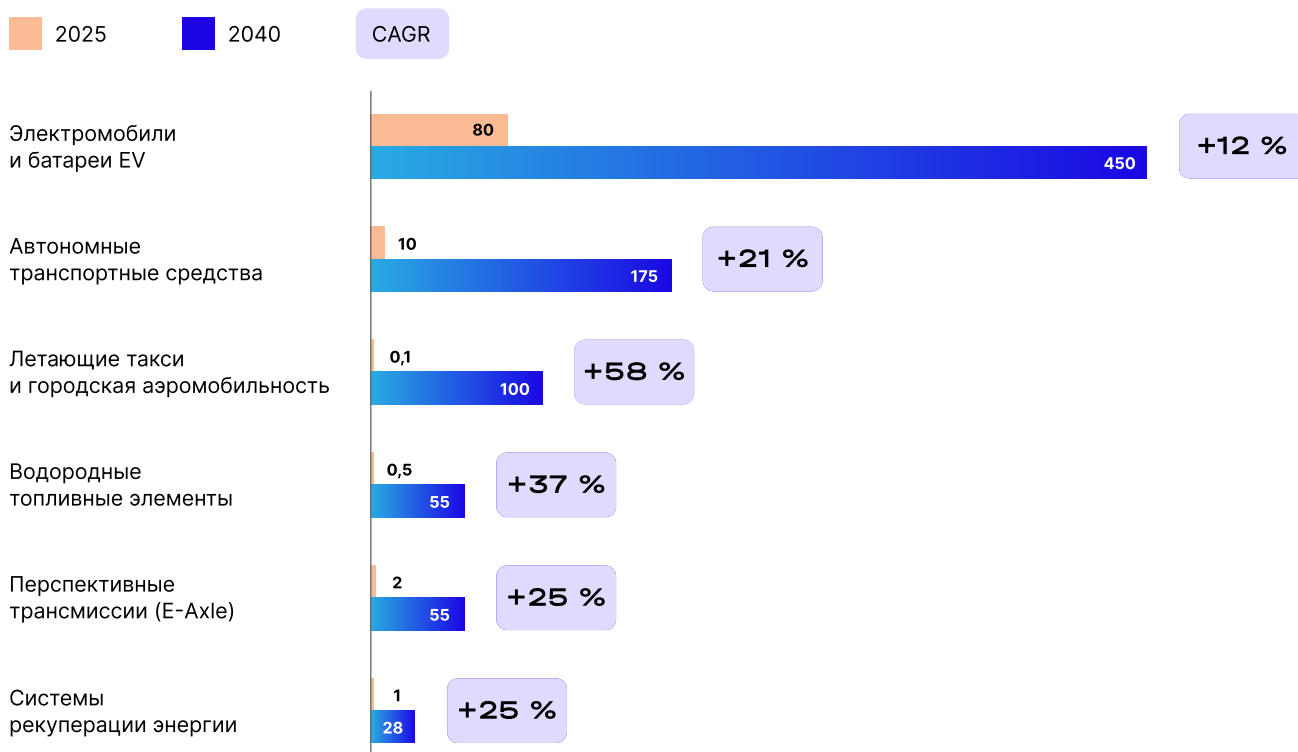


3

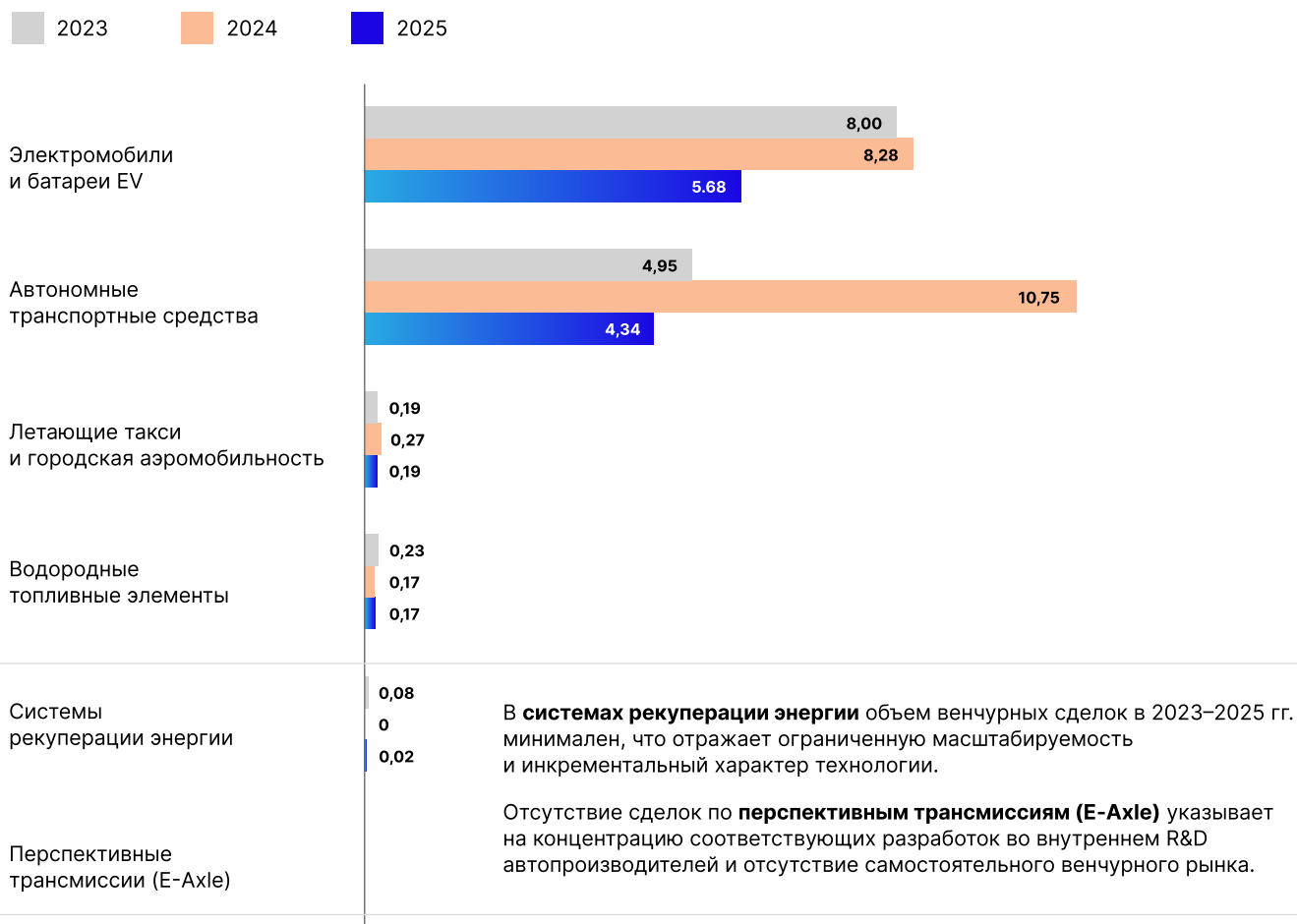
**Финансы,
госуправление
и данные**

Создает новые регуляторные и финансовые модели для инфраструктуры

Мировой рынок по технологиям сектора транспорта и мобильности (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в технологии сектора транспорта и мобильности за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Электромобили

#Автономный транспорт

Tesla запускает роботакси в Остине

22 июня 2025 года Tesla запустила коммерческую службу роботакси в Остине (Техас) с использованием автомобилей Model Y без водителя в геозонированной области.

Сервис работает в режиме только по приглашению; к концу 2025 года парк планировалось расширить до 1 000 машин. Это первый случай коммерческого развертывания полностью беспилотного такси под брендом Tesla.



#Электромобили

#Автономный транспорт

Waymo: 3 000 автомобилей, 10 городов, 1 млн поездок в неделю

По данным на начало 2026 года, Waymo (Alphabet) эксплуатирует около 3 000 полностью автономных автомобилей в 10 городах США и ставит цель выйти на 1 млн поездок в неделю к концу 2026 года. Компания объявила о выходе в Лондон к IV кварталу 2026 года — первом международном развертывании.

Конкурент Amazon Zoox также запустил коммерческие поездки одновременно с Waymo в нескольких городах, что, по оценкам аналитиков Wedbush, делает 2026 год «годом автономии».



#Электромобили

#Автономный транспорт

Apollo Go: роботакси в Дубае — первый выход за пределы Китая

В марте 2026 года Baidu запустила полностью коммерческий сервис роботакси в Дубае через приложение Apollo Go — без водителя на борту. Это первое на Ближнем Востоке развертывание платформы: в январе 2026 года RTA выдал Apollo Go первый в ОАЭ пермит на эксплуатацию беспилотных автомобилей.

Партнером выступила Dubai Taxi Company. Автомобили RT6 шестого поколения стоят около \$28 000 за единицу — вдвое дешевле предыдущего поколения.

К запуску платформа накопила 20 млн поездок и 190 млн км полностью беспилотного пробега по всему миру; план — довести дубайский флот до 1 000 машин к 2028 году в рамках цели Дубая перевести 25% транспорта на автономный режим к 2030 году.

Интернет вещей и связь

Сектор Интернета вещей и связи эволюционирует от простого подключения устройств к распределенной сенсорной ткани, которая пронизывает города, производственные площадки, энергосистемы и агросектор.

Ядро направления образуют 5G/6G-сети (CAGR 11%), технологии IoT и edge-вычислений (12%), умные города (17%) и кибербезопасность в IoT (15%); относительно сбалансированный рост по всем подсегментам отражает системный характер рынка, где операторы сетей, производители сенсоров, поставщики платформ и решений по безопасности развиваются синхронно. Именно связка массовых сенсоров, облака и аналитики рассматривается международными исследованиями как основа «умной» инфраструктуры.

Главным ограничением становится уже не столько стоимость устройств, сколько стандартизация, кибербезопасность и управляемость сложности: миллиарды узлов создают радикально новый профиль рисков для критической инфраструктуры. В этом контексте растет роль edge-вычислений и специализированных IoT-платформ, которые позволяют обрабатывать данные ближе к источнику, снижать нагрузку на сети и повышать устойчивость систем в случае сбоев или атак.

В совокупности IoT и связь выступают «сквозной» технологией для остальных направлений форсайта — от транспорта и энергетики до космоса и квантовых сетей.

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

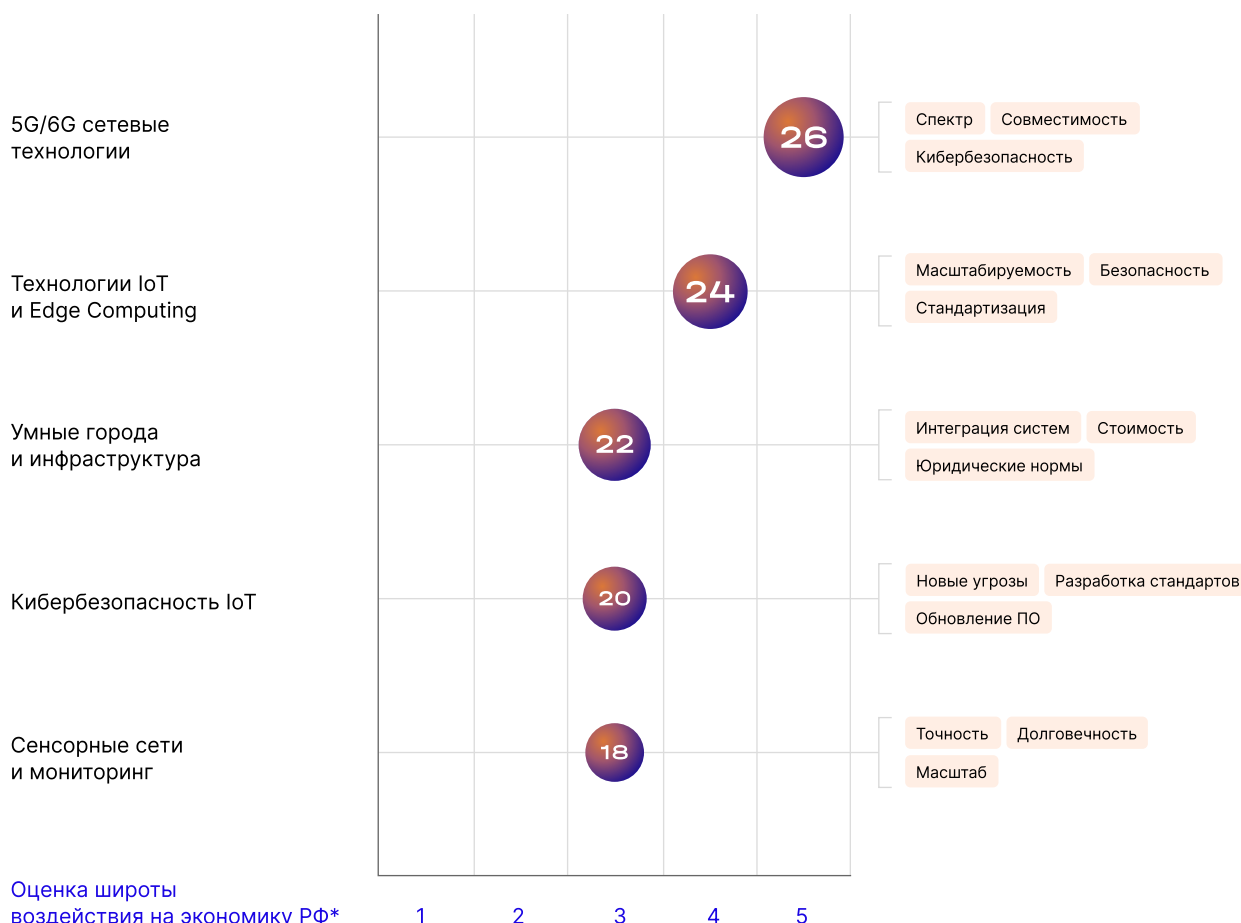
Влияет на технологии

Питает данными	Искусственный интеллект
Является инфраструктурой	Робототехника и автоматизация
Является инфраструктурой	Транспорт и мобильность
Является инфраструктурой	Перспективная энергетика
Создает спрос	Космические технологии

Зависит от технологий

Космические технологии	Расширяет покрытие
Искусственный интеллект	Усиливает
Робототехника и автоматизация	Создает спрос
Транспорт и мобильность	Создает спрос
Квантовые технологии	Меняет безопасность
Новые материалы и нанотехнологии	Обеспечивает ресурс

Технологии в секторе Интернета вещей и связи по частоте упоминаний, шт.



Критические вызовы

* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

Промышленность и производительность

Переводит производство от реактивного к предиктивному управлению



5

Энергетика, климат и ресурсы

Делает возможной сложную распределенную энергосистему



5

Города, транспорт и инфраструктура

Создает нервную систему города и транспорта



5

Безопасность, оборона и суверенитет

Расширяет поверхность атаки, но одновременно повышает управляемость безопасности



4

Здравоохранение и качество жизни

Сдвигает фокус от лечения эпизодов к постоянному управлению здоровьем



4

АПК и продовольственная безопасность

Повышает прозрачность и эффективность продовольственных цепочек



4

Образование, труд и человеческий капитал

Снижает барьеры доступа к обучению и работе

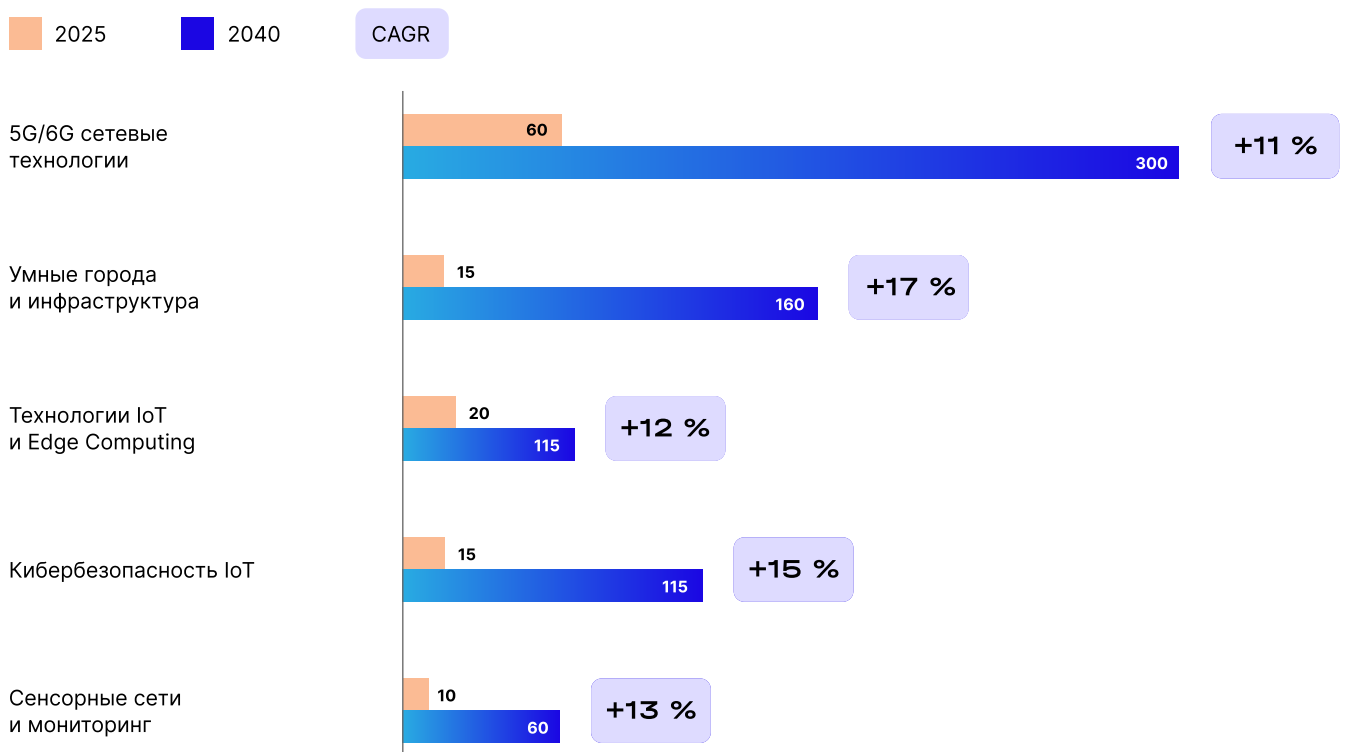


4

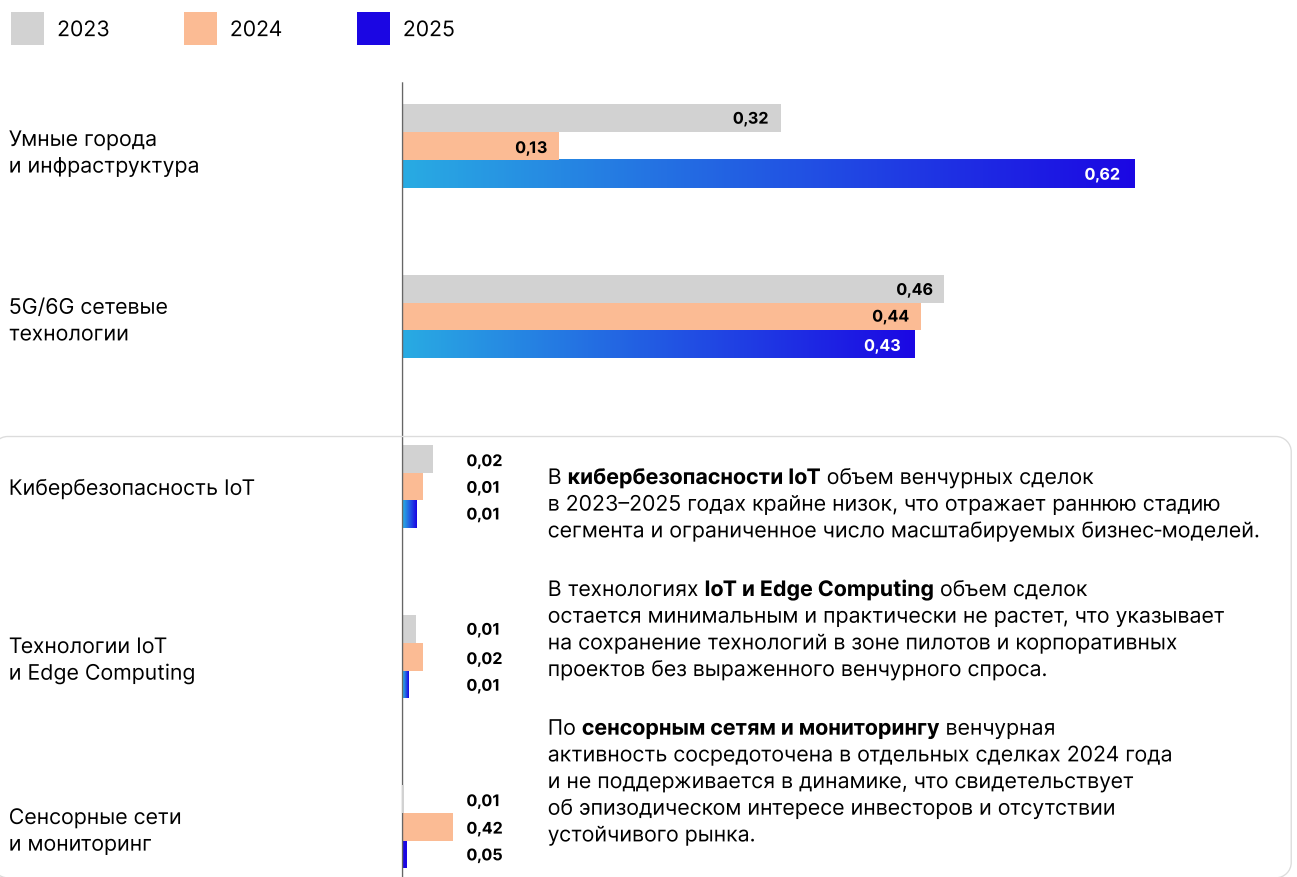
Финансы, госуправление и данные

Является инфраструктурой цифрового государства и финансовых сервисов

Мировой рынок по технологиям сектора Интернета вещей и связи (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в технологии сектора Интернета вещей и связи за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Исследование 6G

3GPP запускает технические исследования 6G

В июне 2025 года на встрече 3GPP в Праге ведущие игроки отрасли согласовали и инициировали технические исследования по 6G в рамках Release 20; работы начались в августе 2025 года.

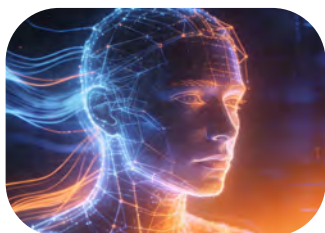
Это переход от фазы концептуального исследования к реальному проектированию архитектуры системы — RAN, ядровой сети, безопасности. Ключевым контрольным рубежом — завершение исследований в июне 2026 года, который определит состав Release 21 и график нормативной стандартизации.



#Подписки на 5G

Мировые подписки на 5G достигают 2,9 млрд

По данным Ericsson Mobility Report (середина 2025 года), глобальное число подписок на 5G достигло 2,9 млрд, составив треть всех мобильных подписок. Только в I квартале 2025 года добавилось 145 млн новых абонентов.



#Голографическая связь

6G-XR: первая в мире голографическая «звонилка» по мобильной сети

Проект 6G-XR (консорциум EU SNS JU) реализовал первую в мире сетевую голографическую связь через стандартный IMS-канал смартфона — без установки сторонних приложений.

Достижение признано одним из топ-10 результатов года в европейской программе Smart Networks and Services. Это прототип сервиса, который станет стандартом для 6G в 2030-х годах.

Квантовые технологии

Квантовые технологии развиваются сразу по четырем ключевым направлениям: квантовые компьютеры (режим NISQ), коммуникация с использованием квантового распределения ключей (QKD), квантовые датчики и квантовое моделирование. Высокие темпы роста характерны для всех компонентов, но особенно — для квантового моделирования (CAGR 34%) и коммуникационной инфраструктуры (32%), что согласуется с международными оценками о формировании «квантовой экономики», затрагивающей финансы, логистику, здравоохранение и оборону. Квантовые компьютеры (23%) растут несколько медленнее ввиду высоких инженерных барьеров масштабирования: при этом уже сегодня на рынке существуют коммерческие ниши для квантовых сенсоров и пилотных QKD-линий, тогда как массовое применение универсальных квантовых компьютеров сдвинуто за горизонт 2030-х.

Фундаментальные вызовы направления — масштабируемость и декогеренция для квантовых компьютеров, дороговизна и отсутствие стандартов для коммуникаций и датчиков. Принципиально важная особенность отрасли состоит в том, что квантовые технологии одновременно создают и решают проблемы кибербезопасности: наращивание вычислительных мощностей угрожает классической криптографии RSA, тогда как квантовая связь и постквантовые протоколы становятся ответом на эти риски. В форсайт-логике это направление выступает «мультипликатором» для всего технологического ландшафта, способным как ускорить, так и радикально дестабилизировать существующие цифровые инфраструктуры.

Кейс Google Willow (декабрь 2024) по масштабу значимости уже сравнивают с прорывной статьей Attention Is All You Need для ИИ.

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

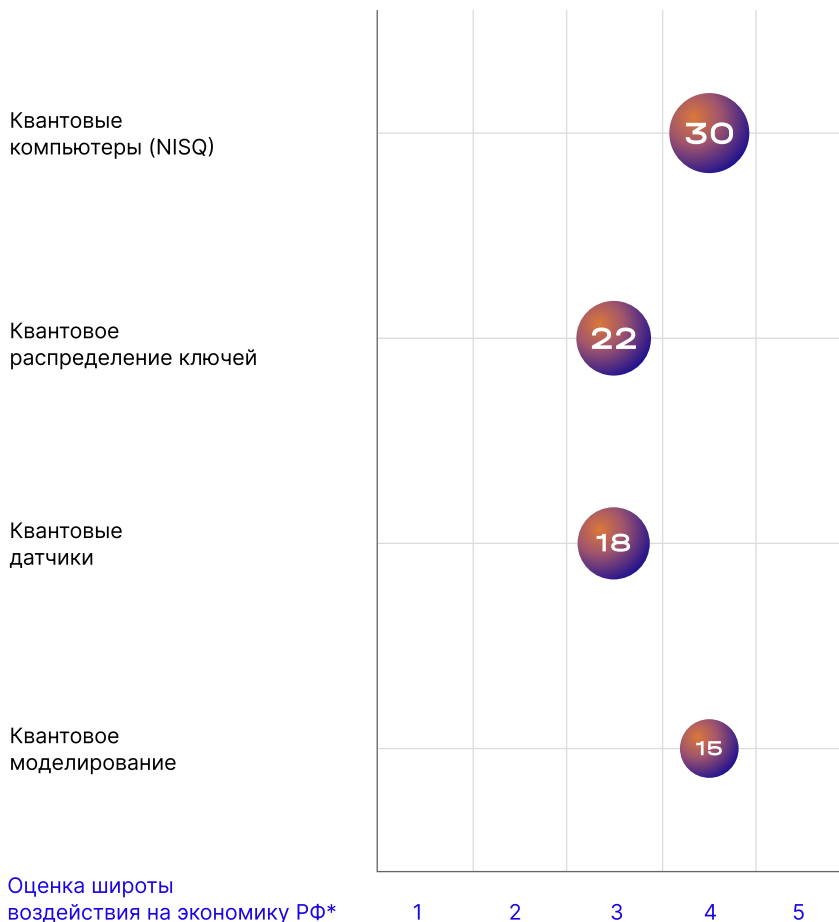
Влияет на технологии

Ускоряет	Новые материалы и нанотехнологии
Ускоряет	Биотехнологии и медицина
Ускоряет	Перспективная энергетика
Усиливает	Космические технологии
Меняет безопасность	Интернет вещей и связь

Зависит от технологий

Новые материалы и нанотехнологии	Является условием
Перспективная энергетика	Является условием
Космические технологии	Масштабирует

Квантовые технологии по частоте упоминаний, шт.



Критические вызовы

- Масштабируемость
- Декогеренция**
- Стоимость
- Инфраструктура
- Стандартизация
- Спектр
- Стоимость
- Интеграция
- Стандартизация
- Алгоритмы
- Верификация
- Масштабируемость

* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

** Декогеренция – это процесс разрушения квантовой суперпозиции и потери когерентности в системе из-за ее взаимодействия с окружающей средой, что приводит к переходу квантовых свойств в классические.

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

Безопасность, оборона и суверенитет

Создают стратегический разрыв между странами с квантовыми компетенциями и без них



4

Здравоохранение и качество жизни

Открывают новые инструменты точной медицины после роста зрелости технологий



4

Энергетика, климат и ресурсы

Могут ускорить поиск решений для энергоперехода



4

Финансы, госуправление и данные

Фактор доверия, устойчивости и технологического суверенитета



3

Промышленность и производительность

Среднесрочно влияние точечное, но потенциально высокое в сложных задачах



3

Города, транспорт и инфраструктура

Влияние вероятно начнется с критической и высокоточной инфраструктуры



2

АПК и продовольственная безопасность

Влияние пока ограничено; более широкий охват ожидается по мере зрелости технологии

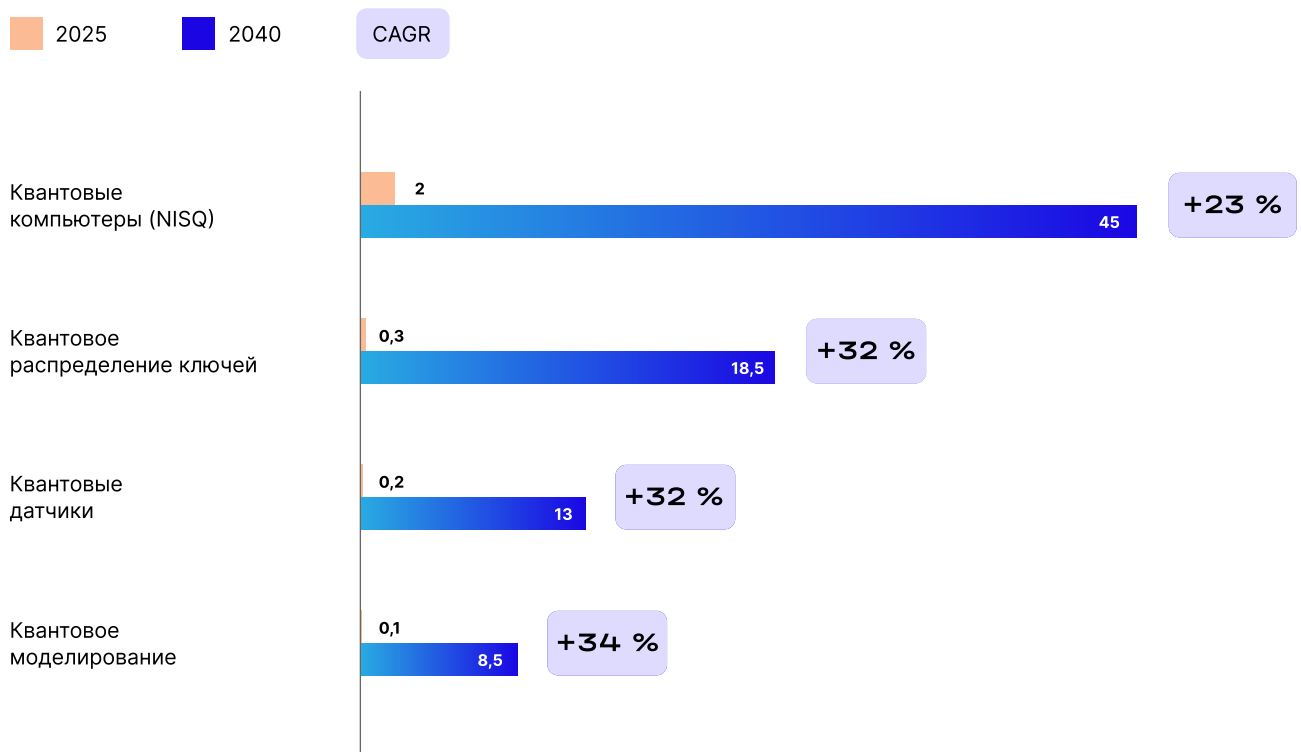


2

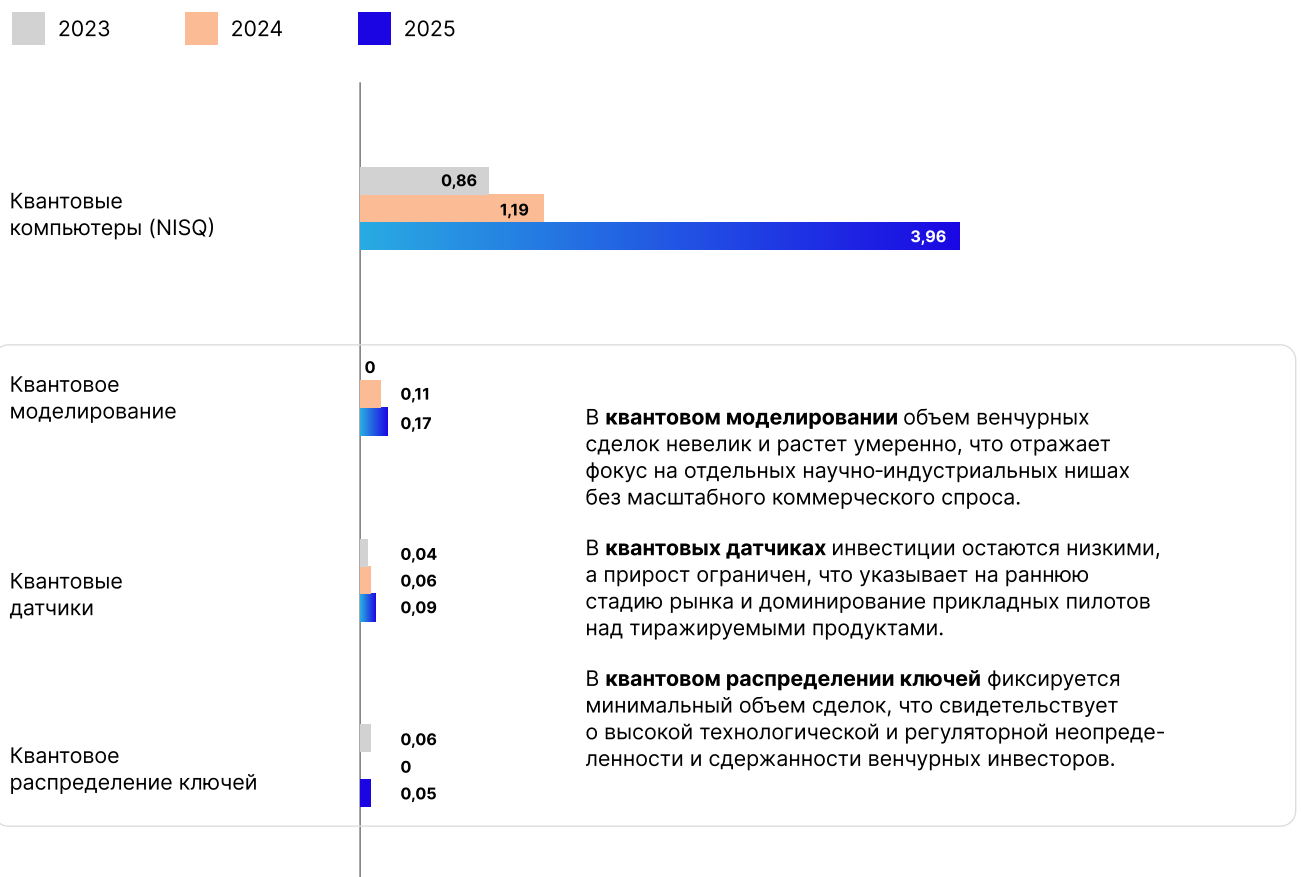
Образование, труд и человеческий капитал

Влияние важно для подготовки кадров, но не массовое до зрелости рынка

Мировой рынок по квантовым технологиям (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в квантовые технологии за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Квантовые компьютеры

Google Willow: преодоление порога коррекции ошибок

Процессор Willow на 105 кубитах впервые продемонстрировал экспоненциальное снижение частоты ошибок по мере увеличения числа кубитов — то, что теоретически постулировалось с 1995 года, но не было достигнуто на практике. Чип выполнил стандартный тест за несколько минут, на который у лучшего классического суперкомпьютера ушли бы 10 септиллионов лет.

Результаты опубликованы в Nature; по масштабу значимости событие сравнивают с прорывом статьи Attention Is All You Need для ИИ.



#Квантовые компьютеры

#Квантовое моделирование

Microsoft Majorana 1: новое состояние материи

Microsoft представила Majorana 1 — первый в мире квантовый процессор на топологических кубитах (8 кубитов), реализованных через топологический сверхпроводник.

Архитектура допускает цифровое управление кубитами (в отличие от аналогового у конкурентов) и спроектирована для масштабирования до 1 млн кубитов на одном чипе. DARPA инициировало финальную фазу программы по созданию отказоустойчивого прототипа «в течение лет, а не десятилетий».



#Квантовые вычисления

#Квантовое моделирование

Квантовые вычисления как услуга

По прогнозам IBM, Google и независимых аналитиков, 2026 год становится годом первых реальных производственных применений квантовых компьютеров в задачах оптимизации и моделирования молекул — через облачный доступ.

Совокупные инвестиции Google, IBM, Amazon, Microsoft и Китая превысили \$140 млрд; только в 2025 году инвестиции в отрасль составили более \$3,7 млрд.

Новые материалы и нанотехнологии

Направление новых материалов и нанотехнологий концентрируется вокруг графена и углеродных структур, нанотехнологий в медицине, полимеров нового поколения, высокотемпературных керамических композитов и метаматериалов. Такой набор отражает смещение акцента от абстрактной «нанореволюции» к конкретным материалам и платформам, уже проходящим путь от лаборатории к рынку — в аэрокосмосе, электронике, хранении энергии и таргетной доставке лекарств.

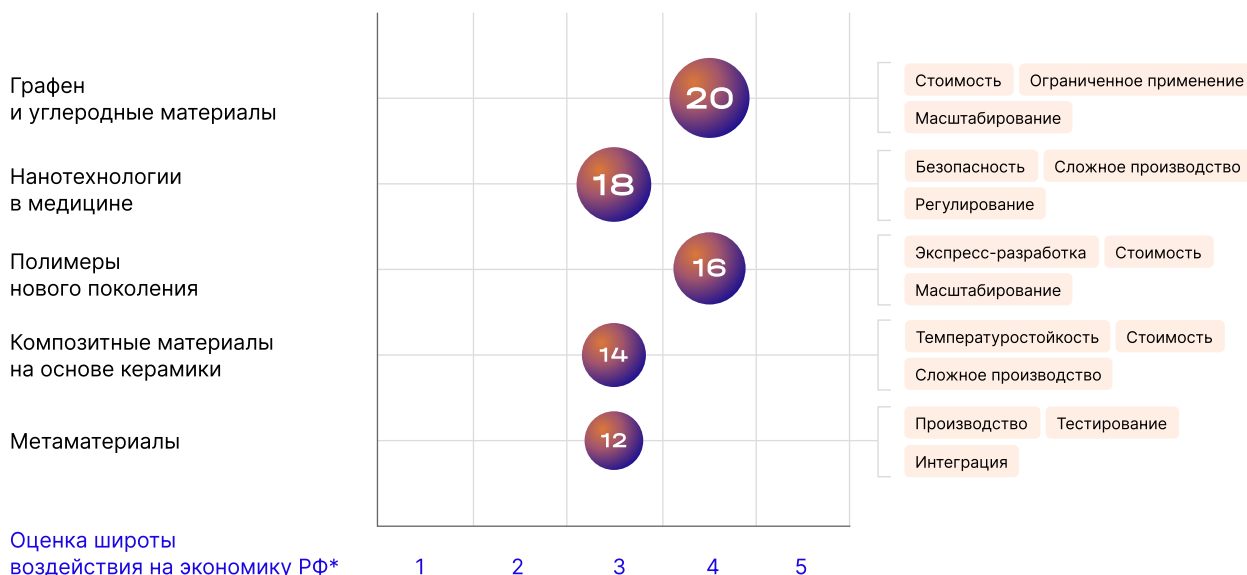
Наиболее быстрый рост ожидается в метаматериалах (CAGR 36%) и нанотехнологиях в медицине (28%) — там, где новые материалы прямо интегрируются в другие приоритетные направления форсайта: биомедицину, аэрокосмос и квантовые технологии. Высокопроводящие углеродные структуры и графен (23%), полимеры нового поколения (19%) и керамические композиты (18%) растут умеренно, обеспечивая инфраструктурную основу для энергетики, транспорта и промышленности.

Хронические барьеры отрасли — масштабирование производства без потери уникальных свойств, снижение стоимости, обеспечение безопасности и разработка регуляторных рамок для наноматериалов.

В отличие от ИКТ-направлений, прорывы здесь чаще носят эволюционный характер: на смену радикальным «нанороботам» приходят менее зрелищные, но экономически значимые улучшения механических, оптических и термических характеристик массовых материалов.

В форсайте до 2040 года это направление выступает скрытым «энейблером», который не всегда на слуху, но критически важен для реализации амбиций в энергетике, транспорте, космосе и квантовых технологиях.

Новые материалы и нанотехнологии по частоте упоминаний, шт.



* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

Влияет на технологии

Является условием	Робототехника и автоматизация
Является ядром	Перспективная энергетика
Является условием	Космические технологии
Является ядром	Транспорт и мобильность
Является условием	Квантовые технологии
Обеспечивает ресурс	Искусственный интеллект
Расширяет инструменты	Биотехнологии и медицина
Обеспечивает ресурс	Интернет вещей и связь

Зависит от технологий

Искусственный интеллект	Ускоряет
Квантовые технологии	Ускоряет
Биотехнологии и медицина	Ускоряет
Перспективная энергетика	Задаёт спрос
Транспорт и мобильность	Задаёт спрос

Критические вызовы

- Стоимость
- Ограниченное применение
- Масштабирование
- Безопасность
- Сложное производство
- Регулирование
- Экспресс-разработка
- Стоимость
- Масштабирование
- Температуростойкость
- Стоимость
- Сложное производство
- Производство
- Тестирование
- Интеграция

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

Промышленность и производительность

Создает базу для новых продуктов и снижения материалоемкости



5

Энергетика, климат и ресурсы

Один из главных физических ограничителей низкоуглеродной экономики



5

Города, транспорт и инфраструктура

Определяет стоимость, ресурс и экологичность инфраструктуры



5

Безопасность, оборона и суверенитет

Критична для оборонной технологической независимости



4

Здравоохранение и качество жизни

Повышают эффективность лечения и персонализацию медицины



3

АПК и продовольственная безопасность

Снижает потери и повышает безопасность продовольствия



3

Финансы, госуправление и данные

Формируют новую повестку промышленной политики и риск-менеджмента

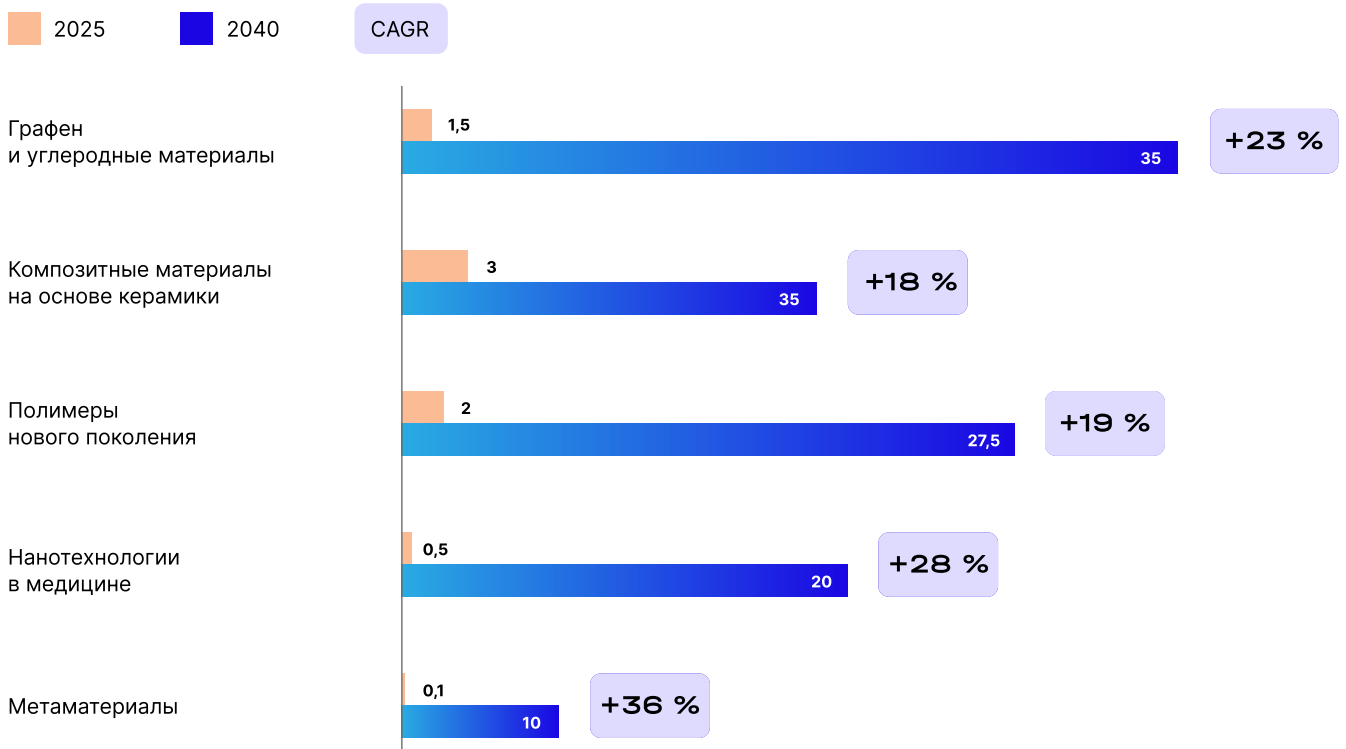


2

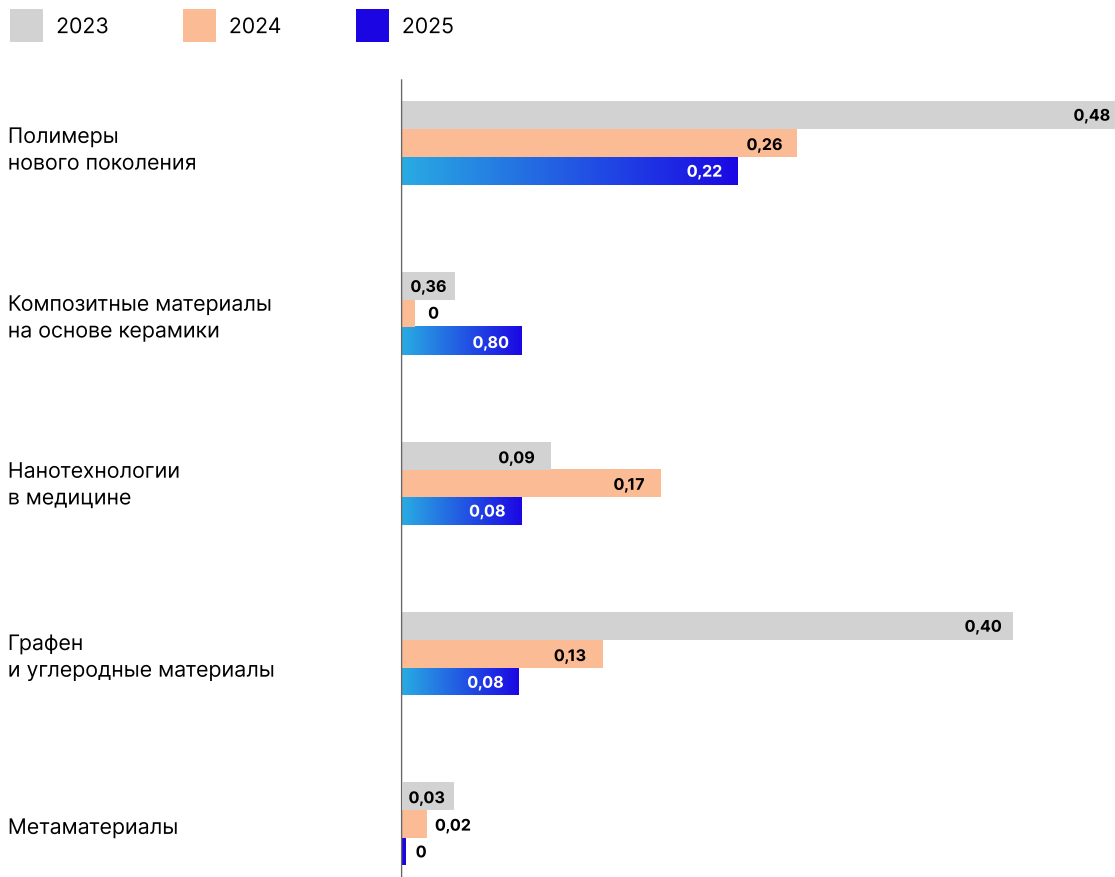
Образование, труд и человеческий капитал

Влияние скорее через рынок высококвалифицированного труда

Мировой рынок по новым материалам и нанотехнологиям (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в новые материалы и нанотехнологии за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



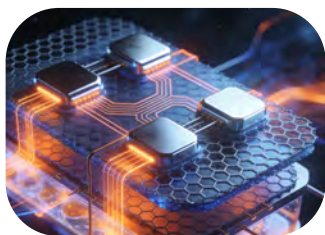
#Графен и углеродные материалы

Графеновые суперконденсаторы на уровне свинцово-кислотных батарей

Инженеры Университета Монаш (Австралия) разработали новый класс суперконденсаторных материалов на основе изогнутых графеновых сетей с высокой доступностью поверхности.

Устройства достигли плотности энергии, сопоставимой со свинцово-кислотными батареями, при значительно более быстрой зарядке. Результаты опубликованы в Nature Communications.

Технология открывает путь к применению в электротранспорте, стабилизации сетей и потребительской электронике.

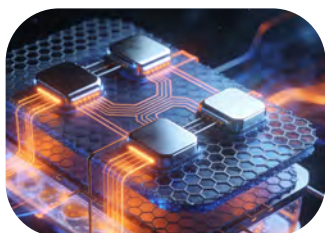


#Производство графена

NanoXplore: коммерческое производство высокоплощадных сортов графена

Канадская компания NanoXplore запустила коммерческое производство нового поколения графеновых добавок серии xGnP (D-300, D-500, D-750) с использованием нового сухого производственного процесса. Продукты нацелены на термопласты в трубопроводах, геомембранах и промышленных изделиях.

Производственный процесс сокращает капиталовложения по сравнению с жидкостной эксфолиацией примерно вдвое.



#ИИ в новых материалах

ИИ-ускоренный поиск материалов: переход от лаборатории к автономным системам (2025–2026)

В 2025–2026 гг. произошел качественный сдвиг в применении ИИ для открытия новых материалов: появились автономные самоуправляемые лаборатории, где ИИ-агент самостоятельно планирует эксперименты, синтезирует и характеризует материалы.

В январе 2026 года Гонконгская квантовая AI-лаборатория применила большие языковые модели (LLM) с обратным контекстным обучением (ICRL) для автоматической генерации и валидации маршрутов синтеза новых материалов.

Ученые заявляют о 10-кратном ускорении разработки материалов благодаря ИИ.

Блокчейн и распределенные технологии

Блокчейн и распределенные реестры охватывают четыре ключевых применения: базовая DLT-инфраструктура, криптовалюты и цифровые платежи, смарт-контракты и децентрализованные приложения (dApp), а также цифровые идентификаторы и системы верификации.

Устойчивый двузначный рост прогнозируется по всем подсегментам (CAGR 20–34%), при этом наиболее динамичны решения, выходящие за рамки финансового сектора, — от токенизации активов и логистики до управления цепочками поставок и «экономики вещей» в связке с IoT. Это подтверждается и внешними исследованиями: распределенные реестры все чаще рассматриваются как сквозная инфраструктура для умного транспорта, энергетики и городских платформ.

Системные вызовы образуют три кластера: масштабируемость, стоимость и регулирование — для базовых реестров; волатильность и комплаенс — для криптовалют; стандарты, безопасность и юридический статус — для смарт-контрактов и цифровой идентичности. На практике это означает, что потенциал блокчейна сегодня ограничен не столько техническими возможностями, сколько сочетанием правовых рамок, зрелостью экосистем и готовностью отраслей переходить от пилотов к промышленному внедрению.

В контексте горизонта 2040 года распределенные технологии важны прежде всего как основа доверия и прослеживаемости в сильно автоматизированных и взаимосвязанных системах — от автономного транспорта до трансграничных данных и квантово-устойчивой криптографии.

Сильно Критически сильно Сила влияния/зависимости

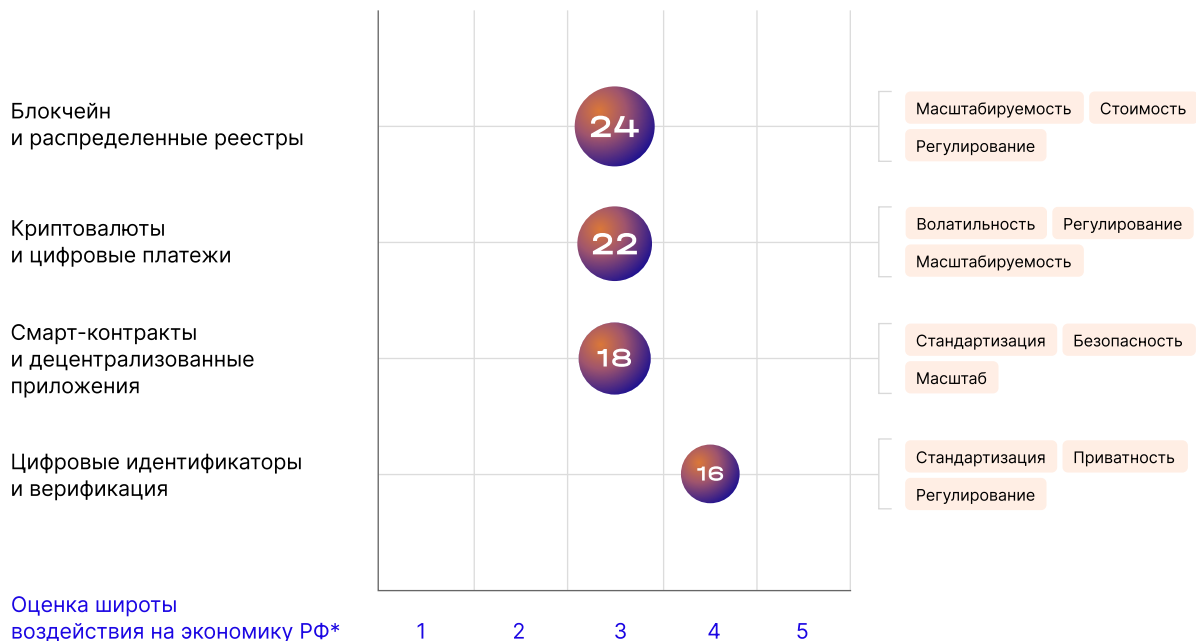
Влияет на технологии

Создает рынок	Перспективная энергетика
Повышает прозрачность	Транспорт и мобильность
Обеспечивает данными	Интернет вещей и связь

Зависит от технологий

Интернет вещей и связь	Усиливает
------------------------	-----------

Блокчейн и распределенные технологии по частоте упоминаний, шт.



Критические вызовы

* Экспертная оценка Центра аналитики ДАВТ

Влияние на отрасли

1 — слабое влияние

2 — умеренное

3 — значимое

4 — сильное

5 — системообразующее



5

Финансы, госуправление и данные

Создает новый слой доверия для цифровой экономики и управления



4

Энергетика, климат и ресурсы

Дает прозрачность для распределенной энергетики и климатических рынков



4

АПК и продовольственная безопасность

Повышает доверие потребителей, регуляторов и торговых партнеров



3

Промышленность и производительность

Повышает прозрачность и снижает транзакционные издержки в сложных цепочках



3

Здравоохранение и качество жизни

Повышает доверие к данным и регулируемым процессам



3

Города, транспорт и инфраструктура

Усиливает доверие в инфраструктурных системах с множеством участников



3

Безопасность, оборона и суверенитет

Полезен как слой доверия, но требует защиты от технологических и правовых уязвимостей

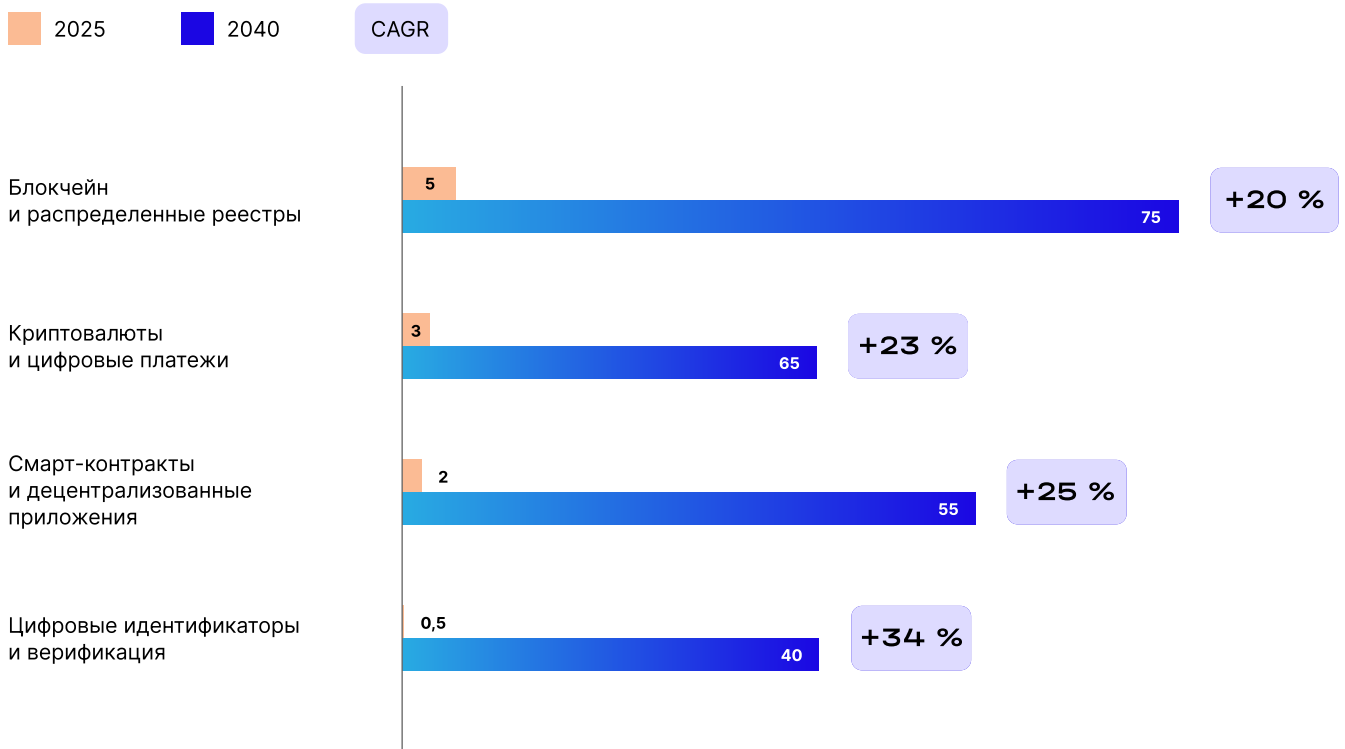


3

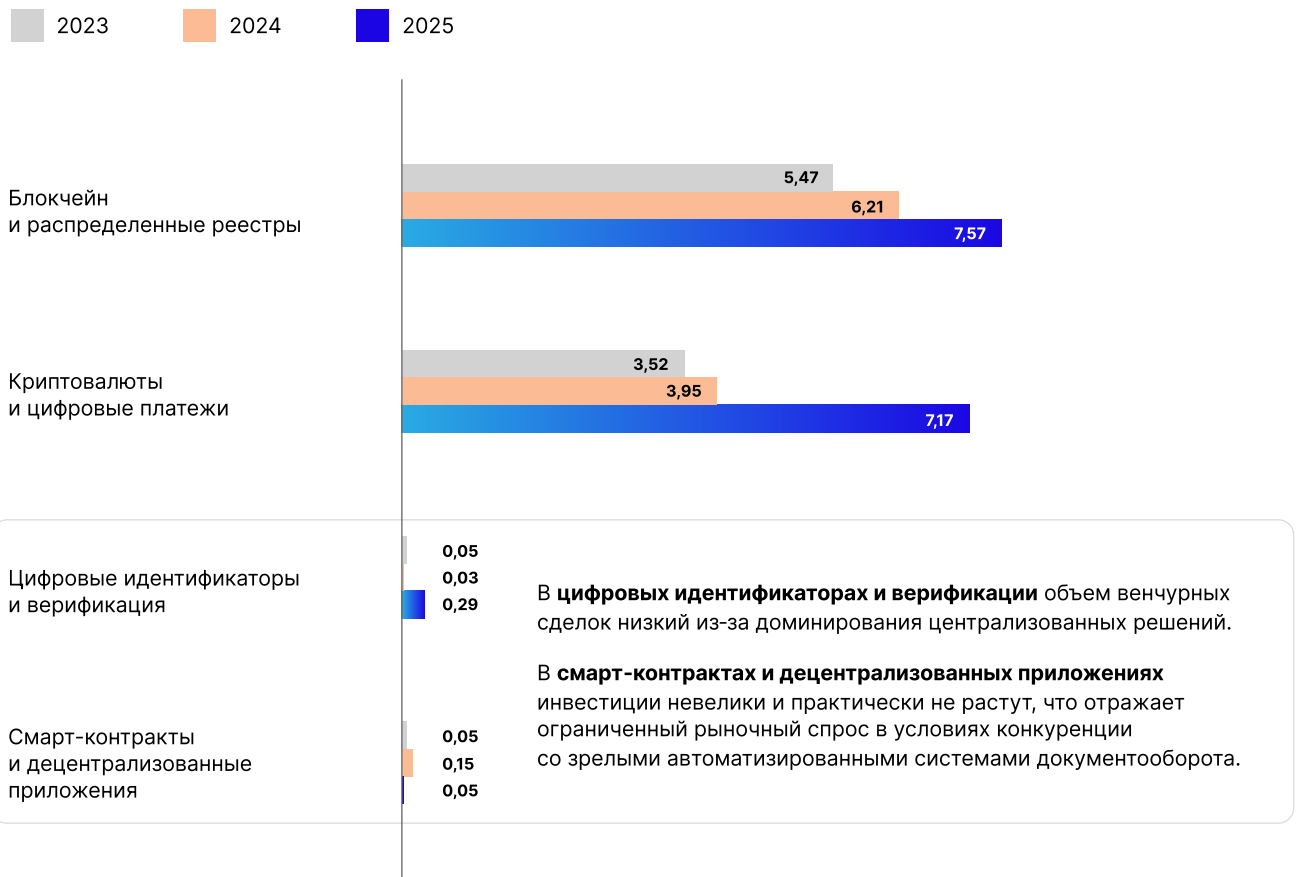
Образование, труд и человеческий капитал

Повышает переносимость квалификаций и доверие к цифровым профилям

Мировой рынок блокчейна и распределенных технологий (усредненная оценка) с указанием CAGR, млрд долл.



Венчурные мировые инвестиции в блокчейн и распределенные технологии за 2023–2025 год, млрд долл.



Источник: Crunchbase

Ключевые события 2025–2026



#Блокчейн

BlackRock BUIDL: токенизированный фонд превышает \$2 млрд активов

Крупнейший в мире управляющий активами BlackRock запустил токенизированный фонд денежного рынка BUIDL на публичном блокчейне; к 2025 году его активы превысили \$2 млрд и стали пользоваться устойчивым спросом на крипто-платформах.

По данным Q3 2025, весь рынок токенизированных реальных активов (RWA) преодолел отметку \$30 млрд — рост примерно в 10 раз с 2022 года. Goldman Sachs, BNY Mellon, DBS Bank и Fidelity масштабируют аналогичные инструменты.



#Криптовалюты
и цифровые платежи

Треть финансового рынка работает с DLT в боевом режиме

Совместный доклад ISSA/Broadridge «DLT in the Real World 2025» фиксирует, что 36% участников финансового рынка уже используют DLT-приложения в производственной среде (не в пилотах). 85% респондентов называют внутрисуточную ликвидность главным результатом применения DLT.

В 2026 году ожидается рост числа live-клиентов во всех сегментах торгового жизненного цикла.



#Криптовалюты
и цифровые платежи

Цифровой евро: Европарламент дает старт, ЕЦБ выходит на DLT-расчеты

В феврале 2026 года Европарламент проголосовал за продвижение проекта цифрового евро: онлайн- и офлайн-версии предназначены для розничных платежей граждан еврозоны, технические стандарты ЕЦБ намечены на лето 2026 года, пилот — на 2027-й, полноценный запуск — на 2029-й.

Параллельно ЕЦБ подтвердил, что в 2026 году приступит к DLT-расчетам непосредственно в деньгах центрального банка — первый случай интеграции распределенного реестра в официальную платежную инфраструктуру еврозоны.

Это принципиальный сдвиг: государственные цифровые валюты переходят из стадии дискуссий к законодательно закрепленным дорожным картам, а ЕЦБ де-факто легитимизирует DLT как инфраструктурный стандарт для суверенных расчетов.

Раздел 2

Технологическая синергия *и отраслевые трансформации*

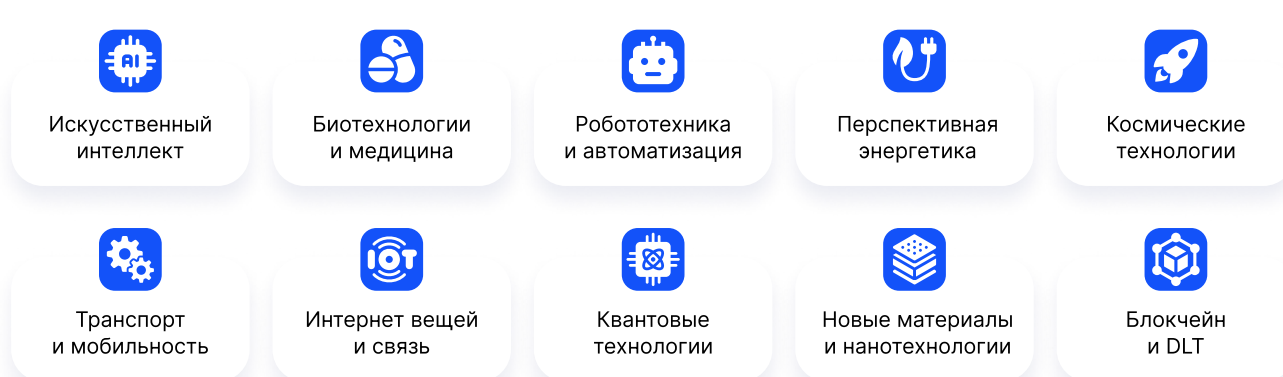
2.1. Взаимовлияние технологий

2.2. Отраслевые трансформации

Взаимовлияние технологий

Технологии не развиваются в изоляции – каждая из них одновременно является источником импульсов для смежных направлений и объектом влияния со стороны других.

Для структурированного анализа этих взаимосвязей в рамках настоящего исследования была построена матрица взаимовлияния десяти ключевых технологических кластеров горизонта 2040 года:



Матрица отражает направленные связи между кластерами по пятибалльной шкале – от слабого (1) до системообразующего (5) влияния – и позволяет выявить как драйверы технологической трансформации, так и наиболее уязвимые зависимые направления.

















Важно учитывать, что **матрица несимметрична**: сила влияния технологии А на В не равнозначна обратному воздействию. Далее на основе этих данных будут рассмотрены ключевые связи, а также рассчитаны индексы влияния и зависимости каждого технологического кластера.

1	Слабое	Связь существует, но не меняет траекторию направления домена
2	Умеренное	Связь заметна в отдельных нишах или прикладных сценариях
3	Значимое	Связь ускоряет коммерциализацию, снижает риски или открывает новые применения
4	Сильное	Связь формирует важную инфраструктурную, ресурсную или рыночную зависимость
5	Системообразующее	Без развития технологии-источника траектория технологии-получателя существенно замедляется или меняется

Матрица взаимовлияния технологий

1 — слабое влияние	2 — умеренное	3 — значимое	4 — сильное	5 — системообразующее
--------------------	---------------	--------------	-------------	-----------------------

Подвергаются влиянию

										
 Искусственный интеллект	–	<ul style="list-style-type: none"> Дизайн лекарств Диагностика 	<ul style="list-style-type: none"> Автономия VLA-модели 	<ul style="list-style-type: none"> Smart Grid Балансировка 	<ul style="list-style-type: none"> Обработка ДЗЗ Автономия 	<ul style="list-style-type: none"> Автономное вождение Маршруты 	<ul style="list-style-type: none"> Edge AI Анализ потоков 	<ul style="list-style-type: none"> Квантовый контроль Алгоритмы 	<ul style="list-style-type: none"> Открытие материалов 	<ul style="list-style-type: none"> Аналитика Аудит смарт-контрактов
 Биотехнологии и медицина	<ul style="list-style-type: none"> Биоданные Базовые модели 	–	<ul style="list-style-type: none"> Лаборатория автоматизации 	<ul style="list-style-type: none"> Биотопливо Биопроцессы 	<ul style="list-style-type: none"> Жизнеобеспечение Медицина в космосе 	<ul style="list-style-type: none"> Биотопливо Здоровые водители 	<ul style="list-style-type: none"> Биосенсоры Носимые устройства 	<ul style="list-style-type: none"> Молекулярное моделирование 	<ul style="list-style-type: none"> Биомедицина Наномедицина 	<ul style="list-style-type: none"> Происхождение медданных
 Робототехника и автоматизация	<ul style="list-style-type: none"> Воплощенные данные 	<ul style="list-style-type: none"> Роболaborатории Хирургия 	–	<ul style="list-style-type: none"> Инспекция Монтаж 	<ul style="list-style-type: none"> Роверы Сборка на орбите 	<ul style="list-style-type: none"> Автономные платформы 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсоры Управление 	<ul style="list-style-type: none"> Точная сборка Метрология 	<ul style="list-style-type: none"> Легкие приводы Покрываютия 	<ul style="list-style-type: none"> Машинная идентификация
 Перспективная энергетика	<ul style="list-style-type: none"> Питание инфраструктуры 	<ul style="list-style-type: none"> Энергия для биофабрик 	<ul style="list-style-type: none"> Батареи Питание 	–	<ul style="list-style-type: none"> Солнечные источники Ядерные источники 	<ul style="list-style-type: none"> EV/H2/Зарядка 	<ul style="list-style-type: none"> Smart Grid Энергомониторинг 	<ul style="list-style-type: none"> Криогеника Стабильное питание 	<ul style="list-style-type: none"> Батареи Катализаторы PV 	<ul style="list-style-type: none"> P2P-энергия Карбон
 Космические технологии	<ul style="list-style-type: none"> ДЗЗ и геоаналитика 	<ul style="list-style-type: none"> Радиация Микрогравитация 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальные роботы 	<ul style="list-style-type: none"> Энергия для миссий 	–	<ul style="list-style-type: none"> Навигация Геоданные 	<ul style="list-style-type: none"> IoT-спутеллиты LEO 	<ul style="list-style-type: none"> QKD Квантовая навигация 	<ul style="list-style-type: none"> Защита Легкость Термостойкость 	<ul style="list-style-type: none"> Реестры активов и данных
 Транспорт и мобильность	<ul style="list-style-type: none"> Данные о передвижениях 	<ul style="list-style-type: none"> Безопасность Биомониторинг 	<ul style="list-style-type: none"> Дроны Роботакси AGV 	<ul style="list-style-type: none"> Зарядка Водород Накопители 	<ul style="list-style-type: none"> Навигация Наблюдение 	–	<ul style="list-style-type: none"> V2X Телематика 	<ul style="list-style-type: none"> Навигация Оптимизация 	<ul style="list-style-type: none"> Батареи Легкие материалы 	<ul style="list-style-type: none"> Логистика Платежи
 Интернет вещей и связь	<ul style="list-style-type: none"> Сенсорные потоки 	<ul style="list-style-type: none"> Носимые устройства Дистанционная медицина 	<ul style="list-style-type: none"> Периферийные вычисления 	<ul style="list-style-type: none"> Smart Grid 	<ul style="list-style-type: none"> Спутниковая связь IoT 	<ul style="list-style-type: none"> V2X Телематика 	–	<ul style="list-style-type: none"> Защищенная связь Синхронизация 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсоры Чипы 	<ul style="list-style-type: none"> Идентификация устройств
 Квантовые технологии	<ul style="list-style-type: none"> Оптимизация QML 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсоры Молекулярное моделирование 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсоры Навигация 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсоры Моделирование материалов 	<ul style="list-style-type: none"> QKD Точное время 	<ul style="list-style-type: none"> Навигация Оптимизация 	<ul style="list-style-type: none"> QKD PQD 	–	<ul style="list-style-type: none"> Квантовое моделирование 	<ul style="list-style-type: none"> Угроза криптографии PQC
 Новые материалы и нанотехнологии	<ul style="list-style-type: none"> Чипы Сенсоры Память 	<ul style="list-style-type: none"> Нанодоставка Биоматериалы 	<ul style="list-style-type: none"> Приводы Легкие конструкции 	<ul style="list-style-type: none"> Батареи PV Катализаторы 	<ul style="list-style-type: none"> Легкость Защита Термостойкость 	<ul style="list-style-type: none"> Батареи Композиты Электроника 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсоры Антенны Чипы 	<ul style="list-style-type: none"> Кубиты Криоматериалы 	–	<ul style="list-style-type: none"> Защищенное аппаратное обеспечение
 Блокчейн и DLT	<ul style="list-style-type: none"> Происхождение Управление моделью 	<ul style="list-style-type: none"> Согласия Клинические данные 	<ul style="list-style-type: none"> Машинные данные 	<ul style="list-style-type: none"> P2P Grid-сертификаты 	<ul style="list-style-type: none"> Учет данных и активов 	<ul style="list-style-type: none"> Логистика Документы Платежи 	<ul style="list-style-type: none"> Идентификация устройств 	<ul style="list-style-type: none"> Постквантовая защита 	<ul style="list-style-type: none"> Материалы для цепочки поставок 	–

Оказывают влияние

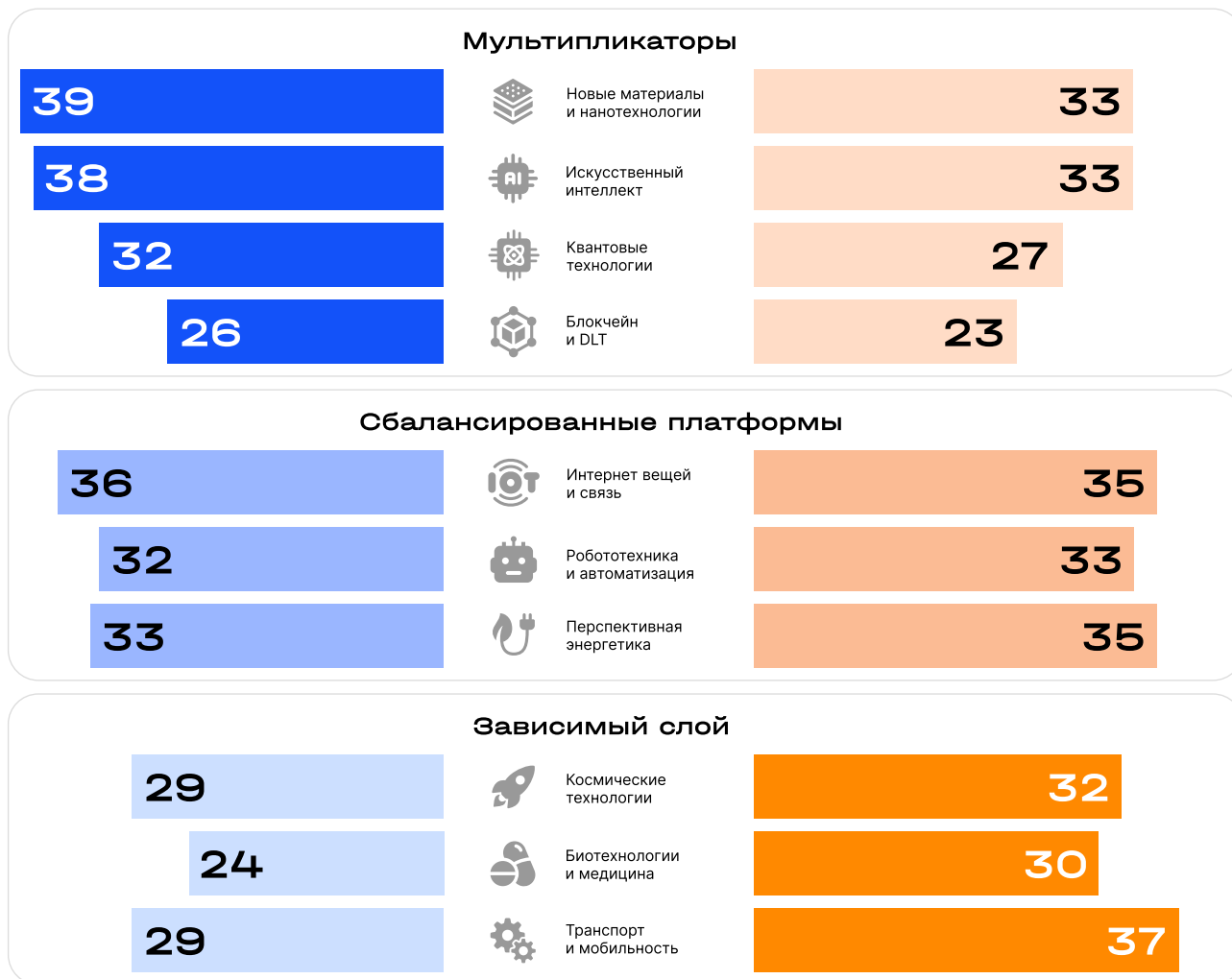
Матрица не симметрична: например, ИИ сильнее влияет на робототехнику, чем робототехника на ИИ.

Влияние и зависимость технологий

Расчетные индексы показывают, какие технологии являются мультипликаторами технологического прогресса, а какие сильнее зависят от внешней технологической базы.

Индекс исходящего влияния*

Индекс входящей зависимости



Технологический ландшафт 2040 года формируется не отдельными направлениями, а системой взаимных ускорителей и зависимостей. Наиболее сильные мультипликаторы: новые материалы и нанотехнологии, искусственный интеллект, квантовые технологии и частично блокчейн/DLT. Они сильнее других «разгоняют» развитие смежных направлений.

Главные системные платформы: IoT/связь, перспективная энергетика, робототехника. Они одновременно влияют на другие технологии и сами зависят от смежных прорывов. Наиболее зависимые домены: транспорт и мобильность, биотехнологии и медицина, космические технологии. Их развитие будет определяться не только собственным R&D, но и зрелостью ИИ, материалов, энергетике, связи и робототехники.

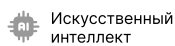
До 2040 года выигрывать будут не одиночные технологии, а технологические пакеты. Например, автономная мобильность требует ИИ, IoT/V2X, батарей, материалов, энергетике и робототехники. Биомедицина ускоряется через ИИ, роботизированные лаборатории, биоматериалы и сенсорные платформы. Энергопереход зависит от материалов, ИИ, IoT и транспортного спроса.

* За индекс принимается сумма баллов в матрице по горизонтали (исходящее влияние) и по вертикали (зависимость).

Куда смотреть лидерам технологического развития: инвесторам, руководителям и госуправленцам

Учитывая ключевые взаимосвязи матрицы, можно выделить 5 главных технологических пакетов, куда стоит обратить внимание и направить ресурсы. Данные пакеты формируют собой маршрутные узлы, которые так или иначе будут задействованы при большинстве сценариев развития технологического прогресса.

Автономная физическая экономика



Искусственный интеллект



Робототехника и автоматизация



Интернет вещей и связь



Транспорт и мобильность

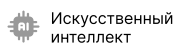


Новые материалы и нанотехнологии

Ключевые процессы и направления

Роботизация, автономная мобильность, беспилотная логистика, промышленные цифровые двойники

Биомедицинская платформа



Искусственный интеллект



Робототехника и автоматизация



Интернет вещей и связь



Новые материалы и нанотехнологии

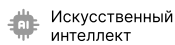


Биотехнологии и медицина

Ключевые процессы и направления

Ускорение R&D, персонализированная медицина, удаленная диагностика

Низкоуглеродная инфраструктура



Искусственный интеллект



Интернет вещей и связь



Транспорт и мобильность



Новые материалы и нанотехнологии

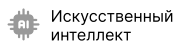


Перспективная энергетика

Ключевые процессы и направления

Smart Grid, электромобили, водород, накопители, управление распределенной генерацией

Защищенная цифровая инфраструктура



Искусственный интеллект



Интернет вещей и связь



Блокчейн и DLT

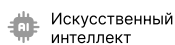


Квантовые технологии

Ключевые процессы и направления

Доверие, идентичность устройств, постквантовая защита, прослеживаемость данных

Космическая инфраструктура данных



Искусственный интеллект



Робототехника и автоматизация



Интернет вещей и связь



Новые материалы и нанотехнологии



Космические технологии

Ключевые процессы и направления

Спутниковый IoT, ДЗЗ, глобальный мониторинг, автономное обслуживание орбитальных активов

Выводы по взаимовлиянию технологий



Искусственный интеллект

ИИ является одним из главных мультипликаторов матрицы: высокое исходящее влияние и положительный баланс. Он сильнее всего ускоряет биотехнологии, робототехнику, транспорт, новые материалы, энергетику, космос и IoT. Его роль не ограничивается цифровыми сервисами: ИИ становится универсальным слоем оптимизации, автономности и ускорения R&D. ИИ — «ускоритель технологической зрелости» почти для всех остальных направлений.



Биотехнологии и медицина

Биотехнологии в матрице выглядят скорее как зависимый, но высокоценный домен. Они сами сильно зависят от ИИ, роботизации лабораторий, новых материалов, IoT/носимых устройств и квантового моделирования. При этом их собственное сильное влияние проявляется прежде всего на новые материалы и нанотехнологии через биоматериалы, наномедицину, тканевую инженерию и биомиметику.

Биомедицина будет развиваться как конвергентная область, где прорывы возникают на стыке данных, автоматизации, материалов и биологии.



Робототехника и автоматизация

Робототехника занимает позицию сбалансированной платформы: она и влияет на другие технологии, и сама сильно зависит от ИИ, материалов, связи и энергетики. Наиболее сильные связи робототехника имеет с космосом, транспортом, биомедициной, IoT и ИИ. Ее ключевая роль: перенос цифровых технологий в физический мир. Важно подчеркнуть, что робототехника является мостом между ИИ, промышленностью, автономной мобильностью, медициной и космической инфраструктурой.



Перспективная энергетика

Энергетика является базовым инфраструктурным слоем. Она сильно влияет на транспорт, ИИ, квантовые технологии, космос и новые материалы. Особенно важны связи с транспортом через EV, водород и зарядную инфраструктуру, а также с ИИ через энергопотребление дата-центров и вычислительной инфраструктуры. Энергетика до 2040 года будет не просто отраслью, а ограничителем или ускорителем масштабирования других технологий.



Космические технологии

Космос в матрице выступает как зависимый слой, но с высокими прикладными эффектами. Он зависит от материалов, робототехники, энергетики, ИИ и связи. При этом сильно влияет на IoT/связь через LEO и спутниковый IoT, на квантовые технологии через QKD/квантовую навигацию и на робототехнику через экстремальные среды. Космические технологии нужно трактовать как инфраструктуру данных, связи, навигации и мониторинга, а не только как самостоятельную отрасль.



Транспорт и мобильность

Транспорт имеет самый отрицательный баланс: это наиболее зависимый домен в матрице. Его развитие определяется ИИ, энергетикой, IoT/V2X, материалами и робототехникой. При этом он сам создает сильный обратный спрос на энергетику, связь, материалы и автономные платформы.

Транспорт является интеграционным полем, где сходятся сразу несколько технологических волн. Поэтому его стоит рассматривать как «витрину» конвергенции технологий до 2040 года.



Интернет вещей и связь

IoT/связь является сбалансированной платформой и ключевой инфраструктурой для инфраструктуры данных и связи. Самые сильные влияния: IoT → ИИ, робототехника, транспорт, энергетика, космос и DLT. Его роль: обеспечить поток данных, low-latency-связь, идентичность устройств, Smart Grid, V2X и цифровые двойники. Без IoT и связи многие технологии остаются локальными решениями, а не масштабируемыми системами.



Квантовые технологии

Квантовые технологии имеют положительный баланс и выступают мультипликатором, но с более долгим горизонтом зрелости. Их сильнейшая связь: квантовые технологии → новые материалы через моделирование. Также они влияют на биомедицину, энергетику, космос и безопасность связи.

Квантовые технологии не только ускоряют смежные направления, но и создают риск для криптографии, что требует перехода к постквантовой защите.



Новые материалы и нанотехнологии

Новые материалы являются главным мультипликатором матрицы. Они имеют максимальное исходящее влияние и положительный баланс. Сильнейшие связи: материалы → энергетика, транспорт, робототехника, космос, квантовые технологии, ИИ и IoT.

Материалы являются физическим основанием технологического форсайта. Они определяют, насколько быстро будут развиваться батареи, полупроводники, сенсоры, кубиты, композиты, космические аппараты и робототехнические системы.



Блокчейн и распределенные технологии

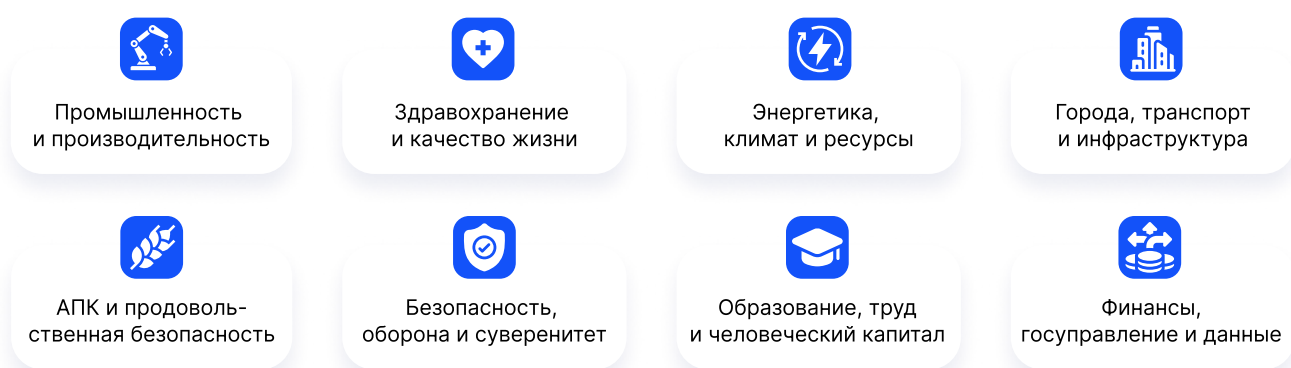
DLT имеет умеренное, но положительное системное влияние. Его сильные зоны: IoT/идентичность устройств, энергетика/P2P-рынки, транспорт/логистика и доверенные цепочки поставок.

В отличие от ИИ или материалов, DLT не ускоряет физическую технологическую зрелость, но создает слой доверия, учета, прозрачности и автоматизированных расчетов. DLT стоит позиционировать не как универсальную технологию, а как инфраструктуру доверия для распределенной цифровой экономики.

Отраслевые трансформации

Матрица «Технологии × сферы» дополняет раздел о взаимовлиянии технологий. Если первая матрица отвечает на вопрос, какие технологии ускоряют или ограничивают друг друга, то вторая показывает, где именно эти технологии создают общественно-экономический эффект.

Данный раздел призван помочь увидеть, какие технологии являются системными трансформаторами для многих сфер, какие сферы испытывают наиболее сильное технологическое давление и где нужны не одиночные проекты, а портфельные программы изменений.



Матрица построена как однонаправленная: строка — технологическое направление, столбец — сфера воздействия. Оценка показывает силу влияния технологии на сферу в горизонте до 2040 года.

1	Слабое	Технология затрагивает сферу косвенно или в отдельных экспериментах
2	Умеренное	Есть заметные ниши применения, но технология не меняет логику развития сферы
3	Значимое	Технология влияет на отдельные важные процессы, рынки или институты внутри сферы
4	Сильное	Технология меняет ключевые процессы, инфраструктуру, риски или экономику сферы
5	Системообразующее	Технология способна изменить базовую модель функционирования сферы до 2040 года

Матрица взаимовлияния технологий и отраслей

1 — слабое влияние	2 — умеренное	3 — значимое	4 — сильное	5 — системообразующее
--------------------	---------------	--------------	-------------	-----------------------

Сферы под влиянием

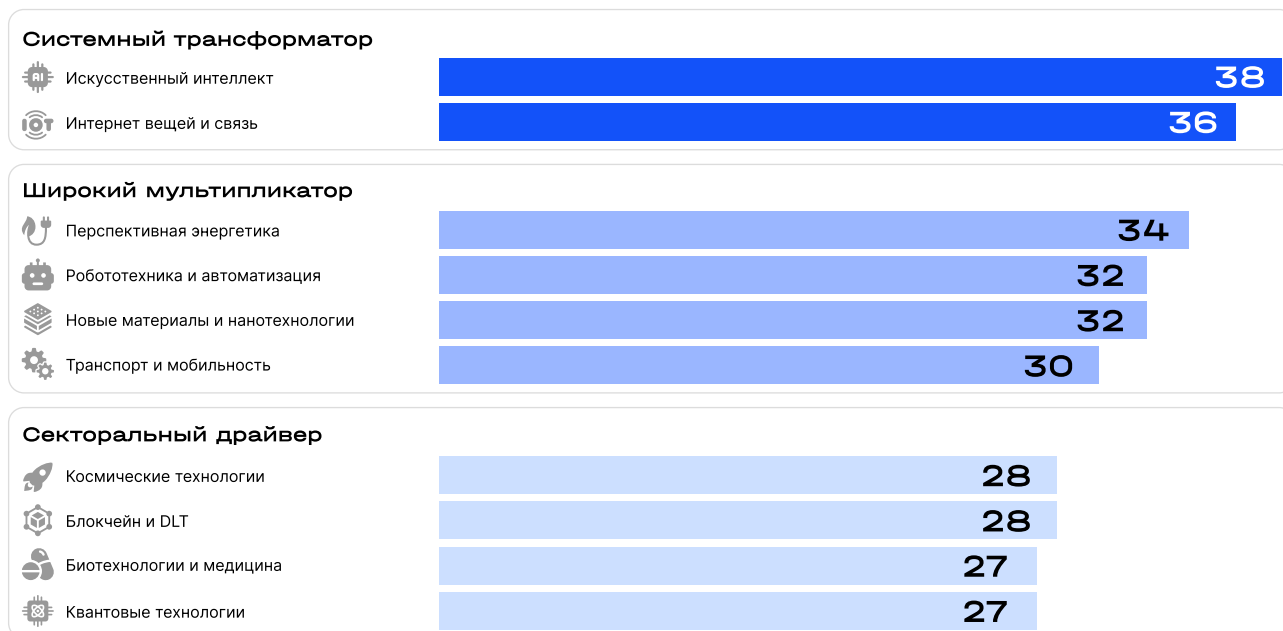
	Промышленность и производительность	Здравоохранение и качество жизни	Энергетика, климат и ресурсы	Города, транспорт и инфраструктура	АПК и продовольственная безопасность	Безопасность, оборона и суверенитет	Образование, труд и человеческий капитал	Финансы, госуправление и данные
Искусственный интеллект	<ul style="list-style-type: none"> Автоматизация решений 	<ul style="list-style-type: none"> Диагностика Открытие лекарств 	<ul style="list-style-type: none"> Smart Grid Оптимизация 	<ul style="list-style-type: none"> Автономность и управление 	<ul style="list-style-type: none"> Точное земледелие 	<ul style="list-style-type: none"> Аналитика Автономные системы 	<ul style="list-style-type: none"> Персонализированные ассистенты 	<ul style="list-style-type: none"> Решения и комплаенс
Биотехнологии и медицина	<ul style="list-style-type: none"> Биопроизводство 	<ul style="list-style-type: none"> Персонализированная медицина 	<ul style="list-style-type: none"> Биотопливо CO2 	<ul style="list-style-type: none"> Санитария Биомониторинг 	<ul style="list-style-type: none"> Геномика Синтетическая биология 	<ul style="list-style-type: none"> Биобезопасность 	<ul style="list-style-type: none"> Здоровое долголетие 	<ul style="list-style-type: none"> Регулирование данных
Робототехника и автоматизация	<ul style="list-style-type: none"> Роботизация труда 	<ul style="list-style-type: none"> Хирургия Уход 	<ul style="list-style-type: none"> Инспекция Ремонт 	<ul style="list-style-type: none"> Автономные машины 	<ul style="list-style-type: none"> Агророботы 	<ul style="list-style-type: none"> Дроны Автономные платформы 	<ul style="list-style-type: none"> Замещение Аугментация 	<ul style="list-style-type: none"> Учет машинных операций
Перспективная энергетика	<ul style="list-style-type: none"> Дешевая чистая энергия 	<ul style="list-style-type: none"> Надежность инфраструктуры 	<ul style="list-style-type: none"> Ядро перехода 	<ul style="list-style-type: none"> Электрификация Зарядка 	<ul style="list-style-type: none"> Энергия для АПК 	<ul style="list-style-type: none"> Энергетический суверенитет 	<ul style="list-style-type: none"> Новые профессии 	<ul style="list-style-type: none"> Углеродные рынки Тарифы
Космические технологии	<ul style="list-style-type: none"> Геоаналитика и связь 	<ul style="list-style-type: none"> Телемедицина Мониторинг 	<ul style="list-style-type: none"> ДЗЗ Мониторинг климата 	<ul style="list-style-type: none"> Навигация Картография 	<ul style="list-style-type: none"> Спутниковое замедление 	<ul style="list-style-type: none"> Разведка Связь Навигация 	<ul style="list-style-type: none"> STEM Удаленный доступ 	<ul style="list-style-type: none"> Данные для управления
Транспорт и мобильность	<ul style="list-style-type: none"> Логистика Флот 	<ul style="list-style-type: none"> Доступность Безопасность 	<ul style="list-style-type: none"> Электрификация спроса 	<ul style="list-style-type: none"> Мобильность как сервис 	<ul style="list-style-type: none"> Холодовые цепи Логистика 	<ul style="list-style-type: none"> Логистика и автономность 	<ul style="list-style-type: none"> Доступность занятости 	<ul style="list-style-type: none"> Цифровые платежи Регулирование
Интернет вещей и связь	<ul style="list-style-type: none"> Промышленный Интернет вещей 	<ul style="list-style-type: none"> Носимые устройства Дистанционный уход 	<ul style="list-style-type: none"> Smart Grid Сенсоры 	<ul style="list-style-type: none"> Умный город / V2X 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсорное АПК 	<ul style="list-style-type: none"> Связь критической инфраструктуры 	<ul style="list-style-type: none"> Доступ Гибридность 	<ul style="list-style-type: none"> Цифровая инфраструктура
Квантовые технологии	<ul style="list-style-type: none"> Оптимизация Сенсоры 	<ul style="list-style-type: none"> Диагностика Моделирование 	<ul style="list-style-type: none"> Моделирование материалов 	<ul style="list-style-type: none"> Навигация Оптимизация 	<ul style="list-style-type: none"> Сенсорика Модели 	<ul style="list-style-type: none"> Криптография Сенсоры 	<ul style="list-style-type: none"> Новые компетенции 	<ul style="list-style-type: none"> Постквантовая безопасность
Новые материалы и нанотехнологии	<ul style="list-style-type: none"> Материальная база 	<ul style="list-style-type: none"> Биоматериалы Наномедицина 	<ul style="list-style-type: none"> Батареи PV Катализаторы 	<ul style="list-style-type: none"> Легкость и долговечность 	<ul style="list-style-type: none"> Упаковка Сенсоры Удобрения 	<ul style="list-style-type: none"> Защитные материалы 	<ul style="list-style-type: none"> Новые инженерные навыки 	<ul style="list-style-type: none"> Критические материалы ESG
Блокчейн и DLT	<ul style="list-style-type: none"> Прослеживаемость цепочки поставок 	<ul style="list-style-type: none"> Медицинские данные Согласия 	<ul style="list-style-type: none"> P2P-энергия Карбон 	<ul style="list-style-type: none"> Цифровые документы 	<ul style="list-style-type: none"> Прослеживаемость пищевой продукции 	<ul style="list-style-type: none"> Идентичность Аудит 	<ul style="list-style-type: none"> Верификация навыков 	<ul style="list-style-type: none"> Цифровое доверие

Влияющие технологии

Анализ влияния технологий на сферы

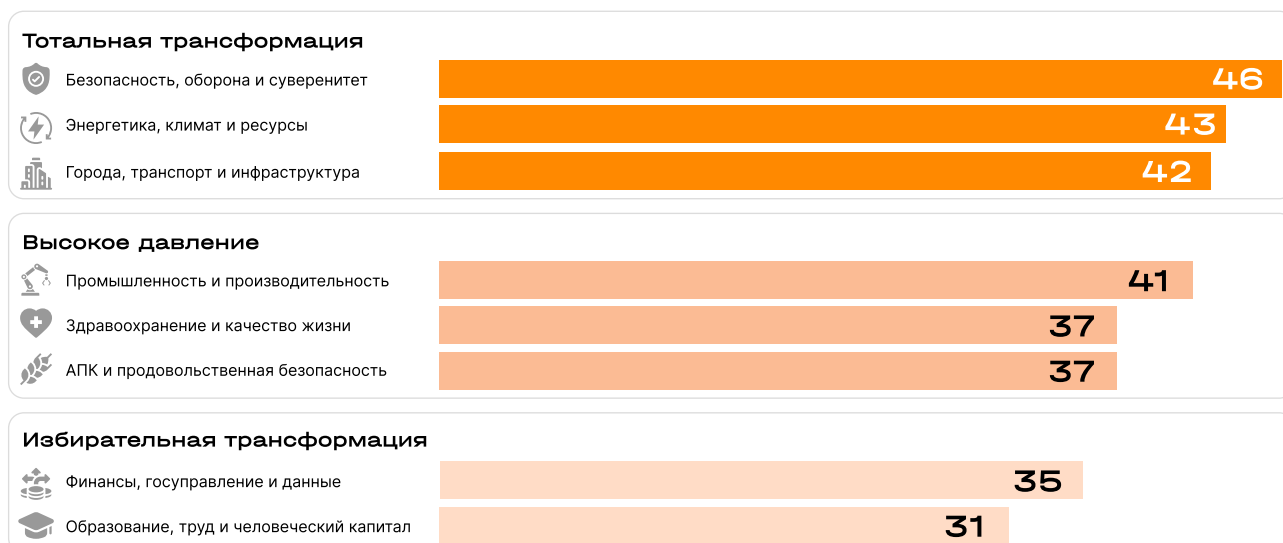
Индексы помогают увидеть, какие технологии имеют самое широкое воздействие, а какие сферы испытывают наибольшее технологическое давление до 2040 года.

Технологии по широте влияния*



Наиболее широкое воздействие оказывают искусственный интеллект и интернет вещей/связь. Они влияют почти на все сферы: промышленность, здравоохранение, энергетику, города, безопасность, образование, финансы и госуправление. Это системные трансформаторы, которые меняют не отдельные рынки, а способ функционирования инфраструктуры, труда, управления и принятия решений.

Отрасли по технологическому давлению**



Сферы, испытывающие наибольшее технологическое давление: безопасность, оборона и суверенитет; энергетика, климат и ресурсы; города, транспорт и инфраструктура; промышленность и производительность. Эти области будут меняться не под воздействием одной технологии, а через наложение нескольких волн: ИИ, IoT, энергетики, материалов, робототехники, космоса и квантовых технологий.

* За индекс широты влияния технологии принята сумма баллов в матрице по горизонтали

** За индекс технологического давления на отрасли принята сумма баллов в матрице по вертикали

Выводы по влиянию технологий на отрасли



Промышленность и производительность

Промышленность находится под высоким технологическим давлением. На нее сильнее всего влияют ИИ, робототехника, IoT/связь, новые материалы и перспективная энергетика. Основной эффект связан с ростом производительности: предиктивное обслуживание, контроль качества, цифровые двойники, роботизация, автоматизация цепочек поставок, новые материалы и снижение энергозатрат.

Промышленность будущего будет не просто автоматизированной, а ориентированной на данные и адаптивной. Конкурентоспособность будет зависеть от способности объединить ИИ, сенсорную инфраструктуру, роботизацию, энергоэффективность и материалы в единую производственную систему.



Здравоохранение и качество жизни

Здравоохранение сильнее всего трансформируется за счет биотехнологий, ИИ, робототехники, IoT/носимых устройств, новых материалов и квантовых технологий. Основные эффекты: персонализированная медицина, разработка лекарств, геномная диагностика, удаленный мониторинг, роботизированная хирургия, доставка лекарств и биосенсоры.

Медицина будет смещаться от реактивного лечения к непрерывному управлению здоровьем. Главная ценность технологий здесь — повышение точности, скорости и доступности медицинских решений, а также продление активной жизни.



Энергетика, климат и ресурсы

Эта сфера является одной из наиболее технологически насыщенных. На нее влияют перспективная энергетика, новые материалы, ИИ, IoT, транспорт, космос и квантовые технологии. Основные эффекты: Smart Grid, накопители энергии, водород, новые батарейные материалы, климатический мониторинг, управление ресурсами, оптимизация спроса и снижение углеродного следа.

Энергетика становится базовым ограничителем или ускорителем для остальных сфер. Без прогресса в материалах, сетях, накопителях и управлении спросом будет сложнее масштабировать ИИ, транспорт, промышленность и города.



Города, транспорт и инфраструктура

Города и инфраструктура испытывают тотальную трансформацию за счет ИИ, IoT/связи, транспорта, энергетике, робототехники, космоса и новых материалов. Основные эффекты: умный город, V2X, автономная мобильность, управление трафиком, цифровые двойники городов, предиктивный ремонт инфраструктуры, зарядные сети и спутниковая навигация.

Город 2040 года будет развиваться как киберфизическая система, где транспорт, энергия, данные, здания и сервисы связаны в единую инфраструктуру. Главный риск — фрагментарное внедрение технологий без общей архитектуры данных и управления.



АПК и продовольственная безопасность

АПК будет трансформироваться за счет биотехнологий, ИИ, IoT, робототехники, космоса, энергетики и DLT. Основные эффекты: точное земледелие, мониторинг почвы и посевов, спутниковая аналитика, агроботы, альтернативные белки, геномная селекция, холодовые цепи и прослеживаемость происхождения продуктов.

Продовольственная безопасность будет зависеть от способности управлять ресурсами, климатическими рисками и цепочками поставок в режиме данных. Технологии позволят снизить потери, повысить урожайность и сделать продовольственные системы более устойчивыми.



Безопасность, оборона и суверенитет

Это самая технологически насыщенная сфера в матрице. На нее сильно влияют ИИ, робототехника, космос, IoT/связь, квантовые технологии, новые материалы, энергетика и биотехнологии. Основные эффекты: автономные системы, разведка, защищенная связь, кибербезопасность, мониторинг границ, энергосуверенитет, биобезопасность, постквантовая защита и критические материалы.

К 2040 году технологический форсайт становится одновременно форсайтом безопасности. Большинство ключевых технологий имеют природу двойного назначения, поэтому технологическая политика будет все сильнее пересекаться с вопросами суверенитета, контроля рисков и устойчивости критической инфраструктуры.



Образование, труд и человеческий капитал

Эта сфера имеет более избирательный, но стратегически важный профиль воздействия. Основные драйверы: ИИ, робототехника, IoT/связь, энергетический переход, квантовые технологии и новые материалы через спрос на новые компетенции. Главные эффекты: персонализированное обучение, AI-ассистенты, автоматизация умственной работы, гибридная занятость, переобучение и рост спроса на инженерные и цифровые навыки.

Технологии будут менять не только рабочие места, но и структуру компетенций. Основная ценность — понимание, что человеческий капитал становится условием технологической реализации: без кадров, переобучения и доверия внедрение технологий будет ограничено.



Финансы, госуправление и данные

Эта сфера трансформируется за счет ИИ, DLT, IoT/связи, квантовых технологий, энергетики и новых материалов через регулирование критических цепочек. Основные эффекты: цифровые реестры, смарт-контракты, борьба с мошенничеством, автоматизация госуслуг, цифровая идентичность, углеродные биржи, постквантовая безопасность, комплаенс и прослеживаемость данных.

Финансы и госуправление становятся сферой, где ключевая задача — создание доверенной цифровой инфраструктуры. Здесь технологии важны не только как инструменты эффективности, но и как основа прозрачности, контроля, регулирования и устойчивости институтов.



Раздел 3

Что в прошлом говорили о настоящем

- 3.1. Подход к анализу технологических прогнозов 2000–2010-х годов**
- 3.2. Что сбылось как предсказывали**
- 3.3. Что превзошло ожидания**
- 3.4. Что реализовалось частично или в другой форме**
- 3.5. Что в прошлом не говорили о настоящем, но оно есть**
- 3.6. Анализ точности прогнозов**

Подход к анализу технологических прогнозов 2000–2010-х годов

В данном разделе предприняты усилия для решения нескольких задач: во-первых, провести своеобразный аудит точности технологических прогнозов 2000–2010 годов, сопоставив их с состоянием технологий на 2025 год; во-вторых, выявить паттерны ошибок и успехов.

Точность прогноза определяется не только качеством исходной методологии, но и классом прогнозируемой технологии. Технологии, развивающиеся по экспоненциальным **кривым обучения (закон Райта)**, прогнозируются иначе, чем технологии, требующие создания новой инфраструктуры или зависящие от регуляторных циклов.

Кривая обучения (закон Райта) —

эмпирическая закономерность, согласно которой стоимость единицы технологии снижается на фиксированный процент при каждом удвоении совокупного объема производства.

Для ретроспективного анализа использовано более 40 форсайт-источников, опубликованных в 2000–2013 годах с горизонтом прогноза до 2015–2030 годов.

Источники разбиты на четыре категории

Глобальные
межправительственные

Национально-
государственные

Корпоративные

Академические
и отраслевые

Критерии классификации результатов



Сбылось

Полное соответствие прогнозам



Сбылось + (превышение ожиданий)

Технология развивалась радикально быстрее, масштабнее или в ином, более значимом направлении



Частично сбылось

Технология реализовалась в ограниченном масштабе, с иным форм-фактором, или только в нишевых применениях



Не сбылось

Технология не достигла коммерческого масштаба к 2025 г.



Что сбылось как предсказывали

Следующие технологические направления реализовались в соответствии с прогнозами: временные горизонты выдержаны с точностью ± 5 лет, количественные показатели — в пределах 50% от прогнозных.

Промышленные роботы: устойчивая глобальная роботизация производства

IFR World Robotics 2009
2009 → 2012

Парк промышленных роботов – более 1 млн ед.,
новые установки – 100 тыс./год

NISTEP 8-й Дельфи
2005 → 2025

Выдающееся присутствие
роботов в производстве

McKinsey MGI 2013
2013 → 2025

Advanced Robotics —
\$1,7–4,5 трлн экономического эффекта

NIC GT2025
2008 → 2025

Роботы и беспилотники
для здравоохранения, ухода, безопасности

RAND GTR 2020
2006 → 2020

Промышленные роботы —
в топ-16 ключевых технологий

Фактическое состояние сегодня

К 2023 году в мире было установлено более 4,28 млн промышленных роботов (IFR World Robotics 2024), ежегодные инсталляции достигли 541 000 единиц/год — в 4 раза выше прогноза IFR 2009. Плотность роботизации в обрабатывающей промышленности выросла с 48 (2005) до 141 робота на 10 000 работников (2022). Китай стал безоговорочным лидером, получая более 70 000 новых роботов ежегодно — в 7 раз больше прогнозного IFR 2009 года. Промышленные роботы относятся к классу технологий с известной физической базой (электропривод, серворегуляторы) и понятным путем масштабирования. Спрос производственного сектора прогнозировался корректно.

Чего не увидели форсайты: взрывного роста Китая как мирового производителя роботов и революции коботов (Universal Robots, 2012), полностью не предусмотренной ни одним источником.

Возобновляемая энергия — ветровая генерация

Shell Scramble 2008
2008 → 2020

Ветровая генерация — 18 ЭДж/год

IEA WEO 2010
2010 → 2020

Установленная ветровая мощность — 535 ГВт

NIC GT2020
2004 → 2020

ВИЭ – 8% мирового энергоснабжения

TechCast
2008 → 2018

Альтернативная энергия (включая ветер) — 30% рыночного проникновения

Фактическое состояние сегодня

К 2023 году мировая установленная мощность ветровой генерации достигла 1 050 ГВт (IRENA, 2024) — на 96% выше прогноза IEA WEO 2010 на 2030 год, достигнутого на 7 лет раньше срока. Ежегодная ветровая генерация в 2023 году — около 2 300 ТВт·ч. Прогнозы Shell по темпу роста (CAGR ~28–32%) совпали с реальностью для периода 2003–2009: IEA зафиксировала 28% реального CAGR ветровой генерации.

Ветровая энергетика относится к технологиям с известной кривой Райта (удешевление ~15–20% с каждым удвоением совокупного производства). Государственные мандаты в ЕС, Китае, США обеспечили предсказуемую политическую поддержку. Прогнозы Shell по краткосрочному CAGR оказались наиболее точными из всех энергетических форсайтов; IEA систематически занижала долгосрочные абсолюты.

Литий-ионные батареи

TechCast

2010 → 2022

Хранение энергии – 30% проникновения

BMBF Foresight (Германия)

2009 → 2020

Электромобильность как часть энергосистемы

WFS

2013 → 2025

Электромобили возвращают энергию в сеть

NIC GT2025

2008 → 2025

Прорывы в аккумуляторах, ультраконденсаторах

Фактическое состояние сегодня

Стоимость литий-ионных аккумуляторов снизилась с ~\$1 200/кВт·ч (2010) до \$130/кВт·ч (2023) — снижение на 89% за 13 лет (BloombergNEF). К 2023 году мировые инсталляции накопителей энергии достигли 500 ГВт·ч, глобальный рынок литий-ионных батарей составил около \$60 млрд. Технология полностью подтвердила прогнозы о «прорывах в аккумуляторах», хотя конкретные темпы удешевления были кардинально занижены в 2008–2010 годах.

Литий-ионная технология обладала известной химической основой (LiCoO₂/графит), четкой кривой обучения (~15–20% снижения на удвоение выпуска) и платежеспособным спросом от электроники, а затем — от автомобилестроения. Китайские инвестиции в аккумуляторное производство (CATL, BYD) в 2010-х ускорили снижение стоимости значительно быстрее прогнозов.

Геномика и секвенирование генома

OECD Bioeconomy 2030

2009 → 2020

Полное секвенирование генома за \$1 000

MIT TR10 2004

2004 → 2014

Персональная геномика – рыночная технология

MIT TR10 2009

2009 → 2019

Геном за \$100 – технологически реализуем

Singularity U

2008 → 2020

Секвенирование < \$100

NIC GT2015/RAND

2000 → 2015

Геномика «революционизирует жизнь»

Фактическое состояние сегодня

Стоимость полного секвенирования генома человека методами NGS упала с \$100 млн (2001) до \$1 000 (2014), \$200 (2023) и ниже \$100 у нанопоровых платформ (Oxford Nanopore, 2023–2024). Прогноз OECD 2009 «\$1 000 до 2020 года» был реализован на 6 лет раньше срока. Рынок персональной геномики вырос с нуля до более чем \$25 млрд к 2023 году. Компания 23andMe к 2023 году обработала геномы более 14 млн человек.

Геномика — классический пример экспоненциального технологического процесса: стоимость секвенирования снижалась быстрее закона Мура. Это позволило прогнозам с ориентацией на экспоненциальные экстраполяции (OECD, MIT TR) оказаться верными по направлению и в целом по срокам. **Следует отметить, что прогнозы по CRISPR как инструменту редактирования генома (открыт в 2012–2013) полностью отсутствовали во всех форсайтах 2000–2010 годов.**

Облачные вычисления и Big Data

TechCast

2005 → 2012

Облачные вычисления — 30% рыночного проникновения

IBM GTO 2011

2011 → 2015

Инвестиции в Big Analytics — \$18 млрд

McKinsey 2010

2010 → 2015+

Anything-as-a-Service», SaaS — рост +17%/год

Gartner 2009

2009 → 2014

Облачные вычисления — выход на плато продуктивности к 2013–2015

Фактическое состояние сегодня

Глобальный рынок облачных вычислений достиг \$599 млрд в 2023 году (Gartner). Инвестиции в Big Data Analytics к 2023 году — около \$274 млрд (рост с \$13 млрд в 2015 г.). Прогноз IBM о «\$18 млрд к 2015 г.» — подтвержден (реально ~\$16–20 млрд). Ключевые игроки (AWS, Azure, GCP) совокупно обслуживают более 60% мирового объема облачных услуг. Прогноз Gartner 2009 по времени до Плато Продуктивности (2–5 лет) реализован точно: к 2013–2015 годам облако стало стандартом корпоративной инфраструктуры.

Облачные технологии опирались на зрелую инфраструктуру (интернет, центры обработки данных, стандартизированные API) и имели понятную платежеспособную аудиторию — корпоративные клиенты, стремившиеся снизить CAPEX. Форсайты, ориентированные на «infrastructure-as-a-service», верно уловили институциональный спрос, хотя конечные цифры рынка существенно превзошли ожидания.

5G — развертывание мобильных сетей пятого поколения

UK Foresight Cyber Trust

2004 → 2018

Широкополосный доступ — 80% Великобритании

Deloitte TMT 2011

2011 → 2014

4G/LTE рынок — \$10 млрд к 2014 г.

Китай MLP 2006

2006 → 2020

Широкополосная мобильная связь нового поколения» — мегапроект

Фактическое состояние сегодня

Глобальное число подключений 5G достигло 1,6 млрд к концу 2023 года (GSMA). В Южной Корее — более 60% абонентов на 5G. Китай вложил более \$200 млрд в строительство 5G-инфраструктуры к 2023 году. Прогнозы по широкополосной мобильной связи реализовались: 4G (прямой предшественник 5G) достиг глобального покрытия более 75% населения к 2020 году.

Электромобили — региональный рынок (BEV в Китае, Европе)

Shell Blueprints 2008

2008 → 2020

Электромобили выходят на массовый рынок

TechCast

2008 → 2017

Электромобили — 30% рыночного проникновения

NIC GT2025

2008 → 2025

Подзаряжаемые гибриды и электромобили на рынке

IEA WEO 2010

2010 → 2020

Доля электромобилей от новых продаж — 6%

RAND GTR2020

2006 → 2020

Гибридный транспорт — топ-11 из 16 ключевых технологий

Фактическое состояние сегодня

Глобальные продажи электромобилей (BEV + PHEV) достигли 14,0 млн единиц в 2023 году, доля от мировых продаж автомобилей — около 18%. В Китае — 35% новых продаж, в Норвегии — более 80%. Прогноз IEA WEO 2010 «6% к 2020 году» близко к факту: реальная цифра — ~4,6% в 2020 году. Shell Blueprints оказался верен для Китая и Европы, хотя глобальный рынок вышел на эти показатели на 3–5 лет позже.

Электромобили опираются на электросеть (существующая инфраструктура), а их ключевой компонент — батарея — развивался по известной кривой обучения. Государственные субсидии в Китае, Норвегии, Германии, Нидерландах обеспечили предсказуемый рост. **Ошибка форсайтов заключалась в переоценке роли FCEV и недооценке роли BEV на чистом аккумуляторе.**

Высокоскоростные железнодорожные магистрали

TechCast

2008 → 2018

Hi-Speed Trains — 30% проникновения на рынке пассажирских перевозок

UK Foresight IIS

2006 → 2025

Высокоскоростной наземный транспорт как элемент умной инфраструктуры

Китай MLP 2006

2006 → 2020

ВСМ — одна из ключевых областей нацпрограммы

Россия КТ 2002

2002 → н.в.

«Экологически чистый и высокоскоростной наземный транспорт» — критическая технология

Фактическое состояние сегодня

Китай к 2024 году располагает крупнейшей в мире сетью ВСМ — 46 000 км (более 75% мировой сети). Мировая протяженность сетей ВСМ выросла с ~8 500 км (2005) до более 60 000 км (2024). Число перевезенных пассажиров на ВСМ в Китае в 2023 году — более 2,5 млрд. Тренд полностью подтвержден.

ВСМ — инфраструктурная технология с известной физикой, стандартизированным строительством и государственным мандатом в Китае, ЕС, Японии. Ее развитие определялось волей правительств, а не рыночными неопределенностями.

Интернет вещей (IoT) — распространение подключенных устройств

IBM GTO 2004

2004 → 2010

3 встроенных устройства на человека;
14–18 млрд встроенных компонентов

NIC GT2025

2008 → 2025

Повсеместная встройка тегов
в объекты — RFID, сенсорные сети

McKinsey 2010

2010 → 2020

4 млрд пользователей мобильных; сенсоры, RFID, умные активы

WFS

2013 → 2025

IoT свяжет все в гигантскую сеть

Фактическое состояние сегодня

К 2023 году — более 16 млрд IoT-устройств в эксплуатации (IoT Analytics).

Прогноз IBM 2004 «14–18 млрд встроенных компонентов к 2010–2011» был реализован с небольшим смещением в 3–5 лет. Прогноз Cisco IBSG «50 млрд к 2020 году» — существенно завышен.

Направление угадано верно всеми источниками, масштаб — расхождение не более 3 раз.

IoT опирался на [законы Мура](#) и масштабирование беспроводных сетей (WiFi, ZigBee, позднее NB-IoT).

Закон Мура —

эмпирическое наблюдение, сформулированное Гордоном Муром (сооснователем Intel) в 1965 году: количество транзисторов на кристалле интегральной схемы удваивается примерно каждые 24 месяца при одновременном снижении их стоимости.

Форсайты корректно идентифицировали [убиквитарные вычисления](#) как мегатренд. Ошибки были в сторону оптимизма (Cisco) или умеренного пессимизма (NIC 2004). Экономическая ценность IoT (Smart Grid, предиктивное обслуживание) стала самореализующимся пророчеством для корпоративных игроков.

Убиквитарные (повсеместные) вычисления —

концепция, при которой вычислительные устройства встроены в окружающую среду и повседневные объекты настолько органично, что человек взаимодействует с ними естественно, не замечая самого факта вычисления.



Что превзошло ожидания

Следующие технологии развились радикально быстрее, масштабнее или в принципиально новом направлении относительно всех прогнозов 2000–2010 годов.

Искусственный интеллект (LLM, GenAI)

TechCast
2005 → 2022

Intelligent Interface (разговорный ИИ) — 30% проникновения

UNIDO
2005 → 2022

Когнитивные системы, самостоятельно обучающиеся

Россия КТ 2002
2002 → н.в.

Искусственный интеллект — критическая технология

IBM GTO 2011
2011 → 2020+

Обучающиеся системы — сдвиг парадигмы

McKinsey MGI 2013
2013 → 2025

Рынок автоматизации умственного труда — \$5,2–6,7 трлн/год



Реальность 2025 и масштаб превышения

ChatGPT (ноябрь 2022) набрал 100 млн пользователей за 2 месяца — быстрее любого продукта в истории. К 2024 году совокупный рынок генеративного ИИ оценивался в \$150–200 млрд (Goldman Sachs). Модели GPT-4 (2023) и их аналоги демонстрируют результаты на уровне экспертов в большинстве академических тестов. GPU-рынок NVIDIA вырос с \$4 млрд (2016) до \$47 млрд (2024). Реальный темп превысил наиболее оптимистичные корпоративные прогнозы (McKinsey) по временному масштабу более чем в 3 раза.

Почему форсайты систематически недооценивали LLM

1. Трансформерная архитектура ([Vaswani et al., «Attention Is All You Need», 2017](#)) появилась после горизонта всех рассматриваемых форсайтов. До 2017 года доминировала парадигма рекуррентных нейронных сетей с ограниченной масштабируемостью.

Vaswani et al., «Attention Is All You Need», 2017 —

одна из самых влиятельных научных статей в истории машинного обучения, опубликованная восемью инженерами Google в 2017 году. Она ввела архитектуру Transformer, которая стала фундаментом всех современных больших языковых моделей — GPT, BERT, LLaMA и других.

2. Закон скейлинга (Scaling Laws, Kaplan et al., 2020) — эмпирическая закономерность, открытая командой OpenAI (Kaplan et al., 2020): качество языковой модели предсказуемо улучшается по степенному закону при увеличении трех ключевых факторов — числа параметров, объема обучающих данных и вычислительного бюджета.
3. GPU-вычисления: ни один форсайт не предусмотрел перепрофилирование графических процессоров для ИИ-задач (CUDA/GPGPU с 2007 года) как ключевого инфраструктурного шага.
4. Aml/Ambient Intelligence воспринималась как «правильная парадигма» — встроенные агенты, а не единая масштабная модель. Ошибочный архитектурный тезис направил прогнозы по ложному следу.

мРНК-вакцины

MIT TR10 2004
2004

Упоминается как ранняя технология

OECD Bioeconomy 2030
2009

Более 15 новых молекулярных соединений (NME) в год в биофарме к 2030 году

WEF GRR 2008
2008

Пандемия — «вероятный глобальный риск»

Опрос экспертов DARPA
2010 → 2030

мРНК-вакцины — глупая затея. Нереализуемо до 2030

Реальность 2025 и масштаб превышения

мРНК-вакцины против COVID-19 — разработаны за рекордные 10 месяцев.
Совокупные продажи мРНК-вакцин в 2021–2022 годах — более \$100 млрд.

Технологическая платформа открыла путь к мРНК-вакцинам против гриппа, RSV, рака — рынок персонализированных мРНК-препаратов к 2030 году прогнозируется в \$70–100 млрд.

Форсайты не предсказали пандемию как акселератор: ни один документ 2000–2010 годов не рассматривал мРНК как приоритетную платформу.

Смартфоны и мобильный интернет

NIC GT2015
2000 → 2015

Универсальная беспроводная связь через носимые устройства

McKinsey MGI 2013
2013 → 2025

Мобильный интернет — \$3,7–10,8 трлн эффекта

Deloitte TMT 2011
2011 → 2020

Продажи не-ПК > ПК

Реальность 2025 и масштаб превышения

Продажи смартфонов превысили 1,5 млрд единиц в год к 2021 году. В 2024 году более 7 млрд абонентов мобильной связи. Экономика мобильных приложений достигла \$200+ млрд в год. **Смартфон стал главной вычислительной платформой планеты** — факт, систематически недооцененный всеми академическими форсайтами (MIT TR10 полностью пропустил смартфоны в 2001–2010 годах).

Ключевой разрыв: Форсайты фиксировали «мобильную связь» как тренд, **но не предсказали iPhone 2007 как архитектурный сдвиг** — превращение телефона в открытую программную платформу. Появление AppStore (2008) создало экосистему, не описанную ни одним форсайтом того времени.

Социальная сеть как технологическая платформа

Gartner 2006–2007
2006

Web 2.0 / Social Software на «Пике хайпа»

Deloitte TMT 2011
2011

Соцсети: >1 млрд уникальных членов, \$4–5 млрд выручка

McKinsey 2010
2010

Facebook*: 500 млн пользователей (5× за 2 года) — упоминание факта

Реальность 2025 и масштаб превышения

Facebook* к 2024 году — 3,3 млрд активных пользователей, выручка — \$134 млрд/год. TikTok — более 1,5 млрд пользователей, рыночная оценка ~\$200–300 млрд. Совокупная выручка платформ социальных сетей — более \$350 млрд/год в 2024 году. Социальные сети как промышленная инфраструктура политики, рекламы и коммуникации не была предсказана ни одним форсайтом в 2000–2010 годах.

*Компания Meta (социальные сети Facebook и Instagram) признана экстремистской организацией и запрещена на территории Российской Федерации.

Солнечная фотовольтаика (PV) — темпы удешевления

Shell Blueprints 2008
2008 → 2025

Солнечная PV CAGR — 47%/год

IEA WEO 2008
2008 → 2030

Генерация ФВ — 245 ТВт·ч; останется самой дорогой из ВИЭ

IEA WEO 2010
2010 → 2020

Установленная мощность ФВ — 110 ГВт

NIC GT2020
2004 → 2020

ВИЭ (включая солнце) — 8% мирового энергоснабжения

Реальность 2025 и масштаб превышения

Установленная мощность ФВ к 2024 году — 2 100 ГВт (vs. 294 ГВт по прогнозу IEA WEO 2010 на 2030 год); превышение в 7,1 раза, достигнуто на 6 лет раньше. Генерация ФВ в 2023 году — ~2 500 ТВт·ч (vs. 245 ТВт·ч по WEO 2008 на 2030 год; занижение в 10 раз). Стоимость ФВ-электроэнергии: \$25–40/МВт·ч в 2023 году против прогноза IEA «останется самой дорогой из ВИЭ» — кардинальная ошибочная оценка.

Закон Свонсона (Wright's Law для ФВ): Цена солнечных панелей снижалась на ~24% с каждым удвоением совокупного производства с 1976 года. Ни один энергетический форсайт (IEA, Shell, ExxonMobil, BP) не применял это эмпирическое правило. Shell Blueprints частично уловил темп роста (~47% CAGR за краткосрочный период), но не экстраполировал его на 20 лет вперед.



Что реализовалось частично или в другой форме

Сервисные роботы

NIC GT2025

2008 → 2025

Роботы для здравоохранения, ухода на дому, безопасности

TechCast

2010 → 2022

Умные роботы — 30% проникновения

IFR World Robotics 2007

2007 → 2010+

3,5 млн бытовых сервисных роботов

WFS

2013 → 2025

Роботы-сиделки — распространенное явление



Фактическое состояние сегодня

Бытовые роботы — около 20 млн единиц/год продаж к 2023 году. Профессиональные сервисные роботы — 148 000 единиц/год (IFR 2023). Однако гуманоидные роботы-сиделки, способные в полной мере заменить уход за пожилыми людьми, в 2025 году по-прежнему являются нишевыми прототипами (Boston Dynamics Spot, Unitree, Agility Robotics Digit — коммерческие, но не массовые).

Парадокс Моравека в действии: роботы превзошли людей в шахматах (1997), в диагностике по изображениям (2016), в игре в го (2016–2017), но не могут стабильно сложить одежду или принести стакан воды пожилому человеку в произвольной домашней обстановке. Сенсомоторные задачи оказались несравнимо сложнее когнитивных — ровно наоборот тому, что предполагал интуитивный прогноз.

Промышленная биотехнология (биокатализ)

OECD Bioeconomy 2030

2009 → 2015

Промышленные ферменты — продажи \$7,4 млрд

OECD Bioeconomy 2030

2009 → 2025

Биохимикаты — 22–28% рынка специальной химии

USDA через OECD

2009 → н.в.

Специализированная химия на биооснове — 20–25%



Фактическое состояние сегодня

Рынок промышленных ферментов в 2023 году — около \$7,5 млрд (близко к прогнозу OECD 2009, реализован с задержкой 8 лет). Биопластики — около \$11 млрд/год. Доля биохимикатов в спецхимии остается ниже прогноза: ~10–12% вместо 20–25%. Синтетическая биология (Ginkgo Bioworks, Amyris) создала платформу, но коммерческий масштаб ниже оптимистичных прогнозов. Биохимия не вытеснила нефтехимию — скорее, сосуществует в нишах.

Нanomатериалы — рынок меньше прогнозов

NBIC/NSF
2002 → 2015

Рынок нанотехнологий — \$1 трлн

McKinsey MGI 2013
2013 → 2025

Передовые материалы (включая нано) — \$0,2–0,5 трлн/год

Китай TF2020
2006 → 2020

Нанотехнологии — подобласть ключевого направления

NIC GT2015 / RAND 2001
2000 → 2015

Нanomатериалы революционизируют химическую маркировку

Фактическое состояние сегодня

Рынок наноматериалов в 2023 году оценивается в \$64 млрд (LuxResearch) по узкому определению или около \$250 млрд с расширением на нанопроизводство. Прогноз NBIC 2002 «>\$1 трлн к 2015 г.» завышен в 15–20 раз. Углеродные нанотрубки нашли применение в аккумуляторах, спортивных товарах и электронике, но **молекулярная нанофабрика по Дрекслеру** не реализована. Квантовые точки используются в QLED-дисплеях, нанолечебные комплексы — в онкологии (liposomal doxorubicin, nab-paclitaxel).

Молекулярная нанофабрика по Дрекслеру —

гипотетическое устройство размером с настольный принтер, способное собирать произвольные трехмерные объекты с атомарной точностью, включая собственные копии, из простого сырья по цифровой программе.

Персонализированная медицина — доступна, но не для всех

RAND GTR 2006
2006 → 2020

Персонализированная медицина — в топ-56 медицинских применений

TechCast
2008 → 2021

Персональная медицина — 30% проникновения

OECD Bioeconomy 2030
2009 → 2030

Фармакогенетика интегрирована в большой процент схем лечения

NIC GT2015
2000 → 2015

Прорывы в лечении заболеваний» через геномику

Фактическое состояние сегодня

Онкологическое ПГ-тестирование в клиническом применении превысило 700 000 тестов в год в США (2023). Таргетные онкологические препараты (тирозинкиназные ингибиторы, ингибиторы КПП) — рынок более \$100 млрд. Но доступ к персонализированной медицине резко стратифицирован: в развитых странах — стандарт лечения ряда онкологических заболеваний, в большинстве стран с низким доходом — недоступна. **CRISPR-терапия casgevy** одобрена в 2023 году, но стоит \$2,2 млн за курс.

Casgevy (exagamglogene autotemcel) —

первая в мире одобренная регуляторами терапия на основе технологии редактирования генома CRISPR/Cas9, разработанная Vertex Pharmaceuticals и CRISPR Therapeutics. Это историческая точка перехода CRISPR из лаборатории в клиническую практику.

Квантовые вычисления (NISQ-эра)

RAND GTR 2006

2006 → 2020

Квантовая криптография — топ-16, технологий, реализуемых к 2020 г.

TechCast

2010 → 2028

Квантовые вычисления — 30% рыночного проникновения

UK Foresight Cyber Trust

2004 → 2018

Квантовое шифрование — технология в обзоре угроз

Россия КТ 2002

2002

«Элементная база квантовых компьютеров» — критическая технология

Фактическое состояние сегодня

NISQ-эра (NoisyIntermediate-Scale Quantum) наступила: IBM Quantum имеет чип Eagle на 127 кубит, Google достиг 70 кубит (Sycamore), IonQ работает с 32 захваченными ионами. Коммерческие QKD-системы (ID Quantique, Toshiba) развернуты в нишевых применениях. Но «прорывные» квантовые вычисления, способные взломать RSA-2048, по оценке MIT/IBM — не ранее 2030–2035 года при нынешних темпах.

Форсайты правильно идентифицировали квантовые технологии как приоритет, но ошиблись в сроках коммерциализации.

Нейроинтерфейсы

MIT TR10 2001

2001 → н.в.

Нейроинтерфейсы в топ-10 развивающихся технологиях

NBIC/NSF

2002 → 2022

BMI с широкополосной передачей — в клинике

TechCast

2010 → 2033

«Управление мыслью» — 30% проникновения

BMBF

2009 → 2030

BMI — в «кооперации технология-человек»

Фактическое состояние сегодня

Neuralink получила разрешение FDA на первые клинические испытания (2023), первый пациент имплантирован в январе 2024 года. BrainGate в клинических испытаниях с 2004 года: несколько пациентов с параличом управляют компьютером через мозговые имплантаты. Но массового внедрения — в любом значении этого слова — нет. Инвазивные нейроинтерфейсы остаются предметом клинических исследований. Прогноз NBIC «в клинике к 2012–2022» реализован буквально — но только в нишевых нейрохирургических контекстах, не в «потребительском» смысле, который подразумевали форсайты.



Что не сбылось или критически отстало

Водородная экономика и автомобили на топливных элементах (FCEV)

Shell Blueprints 2008 2008 → 2030

50% новых продаж авто —
электрические или водородные

TechCast 2010 → 2023

Водородная экономика —
30% рыночного проникновения

Wired «Long Boom» 1997 → 2020

Водородные
автомобили к 2020 году

UNIDO 2005 → 2020

Широкое применение
водородных транспортных средств

NISTEP 8-й Дельфи 2002

Водородная инфраструктура
для FCEV

Фактическое состояние сегодня

Мировой парк FCEV в 2024 году — около 70 000–80 000 автомобилей (Toyota Mirai, Hyundai Nexo), против прогнозных 1 млн к 2030 году (японские форсайты). Водородные заправочные станции в мире — около 1 000 (vs. ~170 000 электрических зарядных станций типа **DC Fast**). Доля FCEV в мировых продажах авто — < 0,05%.

DC Fast Charging (быстрая зарядка постоянным током, DCFC, Level 3) —

самый быстрый способ зарядки BEV: станция преобразует переменный ток сети в постоянный и подает его напрямую в аккумулятор, минуя бортовой преобразователь автомобиля.

Причины провала

1. BEV обошли FCEV по кривой обучения: аккумуляторы удешевлялись на 18–20%/год, топливные элементы — значительно медленнее
2. Инфраструктурная несовместимость: создание водородной цепочки (электролиз, сжижение, транспортировка, хранение) требует ~5–7× большей энергии, чем прямая зарядка BEV
3. Эффект «лучшее — враг хорошего»: Tesla Model S (2012) доказала, что BEV технология экономически жизнеспособна без водорода
4. Нефтяные корпорации (Shell, BP) системно переоценивали водород как инструмент удержания позиций в транспортном секторе

Улавливание и хранение CO₂ (CCS)

Shell Blueprints 2008

2008 → 2030

20% угольных и газовых станций с CCS

Shell Blueprints 2008

2008 → 2030

В ОЭСР — 90% угольных станций с CCS

NIC GT2025

2008 → 2025

Улавливание CO₂; газификация угля» — правдоподобный сценарий

IPCC AR4

2007 → 2030

CCS — ключевая технология смягчения

Фактическое состояние сегодня

Суммарная установленная мощность CCS в мире в 2024 году — около 50 млн тонн CO₂/год (~50 Мт/год), что составляет <0,15% от мировых выбросов (~37 Гт/год). Прогноз Shell «20% угольных станций с CCS к 2030» — отставание в 20+ лет. Основные причины: стоимость CCS (\$50–100/тCO₂ захвата), необходимость создания инфраструктуры хранения сопоставимого с газовой сетью масштаба, политическое сопротивление. CCS в промышленных применениях (цементный, сталелитейный секторы) развивается медленнее ВИЭ.

Термоядерная энергетика — коммерческая задержка

TechCast

2010 → 2037

Термоядерный синтез — 30% проникновения

Япония NISTEP 8-й

2005 → н.в.

Ядерный синтез — ключевая область 8-го форсайта

Корея KISTEP 3-й форсайт

2004

Термоядерная энергетика» — стратегическая технология общественных потребностей

Фактическое состояние сегодня

ITER (Международный экспериментальный термоядерный реактор) строится с задержкой 5–10 лет — пуск сдвинут с 2025 на 2039 год. NIF (США) достиг зажигания реактора в декабре 2022 года — научный прорыв, но до коммерческой реакции пути на десятилетия. Частные компании (Commonwealth Fusion Systems, TAE Technologies, Helion) привлекли более \$6 млрд к 2024 году, но ни одна не имеет прототипа реактора с чистым энергетическим выходом. Горизонт коммерческого термояда — 2040–2050 при оптимистичном сценарии.

3D-печать — революция в промышленности

McKinsey MGI 2013

2013 → 2025

3D-печать — \$200–600 млрд экономического эффекта/год

Gartner

2010 → 2025

3D-печать — Инновационный Триггер

WFS

2013 → 2025

Наступит эпоха 3D-производства

Z_punkt

2008 → 2030

3D-печать: революция в производственных технологиях

Фактическое состояние сегодня

Рынок аддитивного производства в 2023 году — около \$20–25 млрд против \$200–600 млрд прогноза McKinsey; превышение в 8–25 раз. 3D-печать состоялась как нишевая технология: авиакосмические детали (GE Aviation), медицинские имплантаты (титановые), прототипирование, ювелирное дело.

Однако «персональные заводы» и «производство в каждом доме» так и не материализовались. Принципиальные ограничения: материальный ассортимент, скорость печати, полойная анизотропия свойств.

Биотопливо второго поколения

OECD Bioeconomy 2030

2009 → 2017

Биоэтанол — ~125 млрд литров,
биодизель — ~24 млрд литров

MIT TR10 2008

2008 → 2018

Целлюлозное биотопливо —
«развивающаяся технология»

Shell / NIC

2008 → 2030

Биотопливо 2G —
15–20% транспортного топлива

Фактическое состояние сегодня

Мировое производство биоэтанола в 2023 году — около 130 млрд литров (близко к прогнозу OECD), но 94% этого объема — биотопливо 1-го поколения (кукуруза, сахарный тростник).

Целлюлозное биотопливо 2-го поколения (из соломы, лигноцеллюлозы) составляет < 1% мирового производства. DuPont и Beta Renewables построили заводы, но закрыли из-за нерентабельности к 2018 году. Экономика не сошлась: стоимость производства целлюлозного этанола остается в 2–3 раза выше рыночной цены 1G-этанола.

Что в прошлом не говорили о настоящем, но оно есть

Внезапные технологии и явления

Категория внезапных технологий и явлений включает инновации, которые радикально трансформировали технологический ландшафт 2010-2020 годов, но практически не фигурировали в форсайт-документах до 2010 года.

Эти технологии представляют собой не столько провалы прогнозирования, сколько структурные ограничения методологии форсайта, которая базируется на экстраполяции известных трендов и консенсусе экспертов.

Следующие технологии и явления не упоминались (или упоминались мимоходом) ни в одном из рассмотренных форсайт-документов 2000-2010 годов

Технология / Явление	Год первого появления	Рыночный масштаб сегодня	Статус в форсайтах 2000-2010
Блокчейн / Биткоин / DeFi	Bitcoin Whitepaper — октябрь 2008	Капитализация крипторынка — \$1-2 трлн; DeFi — \$50+ млрд TVL*	Полное отсутствие во всех документах
Генеративный ИИ (LLM, DALL-E, ChatGPT)	Трансформерная архитектура — 2017; ChatGPT — 2022	Рынок GenAI — \$150+ млрд (2024)	Упомянулся только как «обучающиеся системы» без масштаба
Многоразовые ракеты (SpaceX Falcon 9)	Первая посадка Falcon 9 — декабрь 2015	Снижение стоимости запуска с \$60 000/кг до \$2 700/кг	Частный космос упоминался, VTVL** — не прогнозировалось
Потребительские дроны (FPV, съемочные)	DJI Phantom — 2013	Рынок потребительских дронов — \$8 млрд/год	БПЛА упоминались только в военном контексте (NIC 2004)
Дроны в вооруженном конфликте	Массовое применение FPV с 2022	>1 млн FPV-дронов применено в конфликтах к 2024 г.	БПЛА для диверсий упоминались (NIC GT2020), но не войны дронов
Стриминг как замена ТВ	Netflix Streaming — 2007	Рынок стриминга — \$100+ млрд/год	P2P-видео (MIT TR10 2007) — частичное предвидение
iPhone / App Store как платформенная революция	iPhone — июнь 2007; App Store — июль 2008	App Store: \$100+ млрд/год выплат разработчикам	«Мобильная связь» и «смартфон» упоминались, но не платформенная экономика
NFT / цифровые валюты (CBDC)	NFT — 2017-2021; CBDC пилоты — 2020+	NFT-рынок на пике \$40 млрд/год; 130 стран изучают CBDC	Полное отсутствие
Алгоритмическая лента коротких видео (TikTok)	TikTok — 2016	1,5 млрд пользователей, \$20-30 млрд/год	Полное отсутствие
COVID-19 как технологический акселератор	Пандемия — 2020	Ускорение цифровизации на \$4-5 трлн эффекта	WEF GRR 2008 упоминал пандемический риск, но не как технологический катализатор
Starlink / LEO-спутниковый интернет	Starlink запущен коммерчески — 2020	6 000+ спутников, 3 млн абонентов (2024)	«Коммерческий космос» упоминался без конкретики
eSports / игровые экономики	Доминирование — 2012+	Рынок eSports — \$2+ млрд; игровой рынок — \$200 млрд	Полное отсутствие

* Total Value Locked

** Vertical takeoff, vertical landing

Анализ внезапных технологий обнаруживает систематические слепые зоны форсайта



Фундаментальная наука как источник прорывов

CRISPR возник из исследований бактериальной иммунной системы без явного прикладного потенциала. Форсайты фокусируются на прикладных разработках с понятными траекториями коммерциализации, пропуская фундаментальные открытия, которые могут создать совершенно новые технологические области.



Периферийные сообщества и контркультура

Блокчейн возник из криптоанархистского сообщества, развивавшегося вне мейн-стримной финансовой индустрии. Форсайт-процессы базируются на консенсусе экспертов из крупных организаций, что создает систематическую слепоту к идеям из контркультуры.



Катализирующие события

mRNA-вакцины получили массовые инвестиции из-за пандемии COVID-19. Форсайты не могут прогнозировать пандемии, войны и кризисы, которые радикально перераспределяют приоритеты и ресурсы.



Междисциплинарная конвергенция

Потребительские дроны стали возможны благодаря миниатюризации компонентов смартфонов. Форсайты обычно организованы по отраслям, что затрудняет выявление прорывов на стыке секторов.



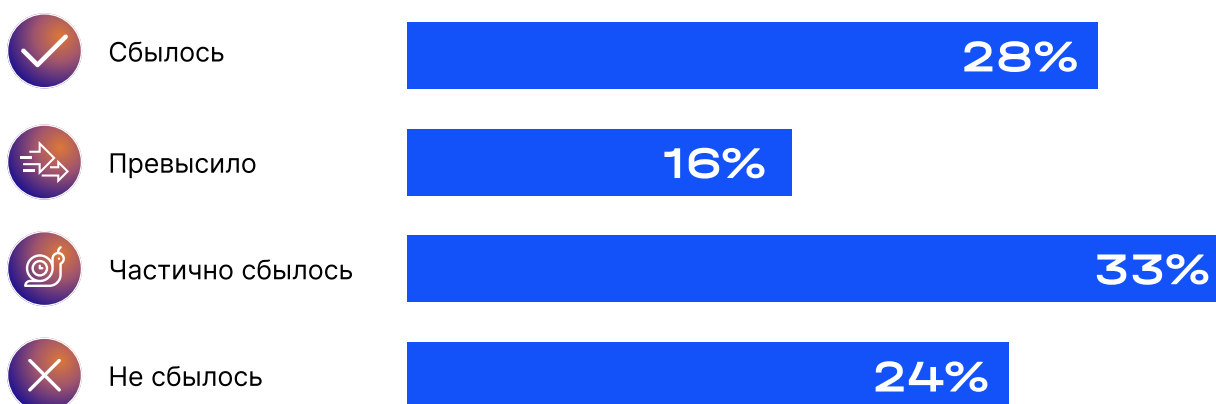
Дизрупция от аутсайдеров

Многоразовые ракеты создала компания SpaceX, не связанная с традиционной космической индустрией. Экспертный консенсус хорошо предсказывает инкрементальное развитие, но пропускает радикальные инновации от игроков вне индустрии.

Эти факторы критически важны для интерпретации текущих форсайтов на 2040 год: консенсус по искусственному интеллекту, биотехнологиям и робототехнике, вероятно, оправдается в общих чертах, но конкретные формы реализации могут радикально отличаться. Следующие прорывы придут из областей, которые сегодня находятся на периферии внимания — фундаментальной науки, контркультурных сообществ и междисциплинарных пересечений.

Анализ точности прогнозов

Было в прогнозах



Не было в прогнозах



Около 44% прогнозов технологических направлений 2000–2013 годов можно считать реализованными в той или иной мере к 2025 году (СБЫЛОСЬ + ПРЕВЫСИЛО). Еще 33% — частичная реализация. Полный провал — 24%. Принципиально непредвиденные явления составляют дополнительный сегмент, условно оцененный в 10% от текущего технологического ландшафта.

Признаки *легко* прогнозируемых технологий

№	Признак	Объяснение	Примеры
1	Известная кривая обучения (кривая Мура / кривая Райта)	Стоимость снижается на фиксированный % с каждым удвоением кумулятивного объема производства. Параметр измерим и стабилен	Полупроводники, Li-ion, солнечная PV, секвенирование ДНК, ветротурбины
2	Известная физическая основа и понятный путь масштабирования	Нет принципиальных физических барьеров; масштабирование — инженерная, а не научная задача	Ветровые турбины, промышленные роботы, 5G
3	Опора на существующую инфраструктуру	Технология встраивается в уже развернутые сети и системы, снижая инфраструктурные инвестиции	Электромобили (электросеть), облако (интернет), IoT (WiFi)
4	Четкий платежеспособный спрос	Конкретный класс потребителей с выраженной потребностью и финансовыми ресурсами	Геномика (онкология), облако (корпоративный IT), ВСМ (государственный заказ)
5	Государственные мандаты и стандартизация	Нормативная база создает предсказуемую рыночную тягу	ВИЭ в Китае и ЕС, 5G, ВСМ (нац. программы)
6	Высокий публичный R&D и патентная активность	Инвестиции в НИОКР видны заблаговременно; патентный анализ позволяет отслеживать вектор	Промышленная автоматизация, биофарма, полупроводники

Признаки **труднопрогнозируемых** технологий

№	Признак	Объяснение	Примеры
1	Зависимость от непредвиденных архитектурных прорывов	Ключевой шаг — не итеративное улучшение, а концептуальный разрыв	Трансформеры для LLM (2017), CRISPR (2012)
2	Необходимость создания новой инфраструктуры с нуля	Требует параллельного строительства инфраструктуры, не имеющей предшественников	Водородная экономика, CCS, термояд
3	Фундаментальные физические барьеры	Проблемы, решение которых не определено временными рамками	Квантовая декогеренция, нанороботы in vivo
4	Сильная зависимость от регуляtorики и этики	10–15-летний цикл одобрения снижает предсказуемость сроков	Генная терапия, автономные автомобили, нейроимпланты, ГМО
5	Эффект «лучшее — враг хорошего»: вытеснение альтернативами	Технология конкурентоспособна технически, но проигрывает более простой альтернативе	FCEV проиграли BEV; WiMAX проиграл LTE
6	Зависимость от культурных и поведенческих сдвигов	Социальное принятие не поддается точному прогнозированию	Умные дома (Aml), VR-иммерсия

Вывод по разделу

Точность прогноза определяется природой технологии. Лучше всего прогнозируются технологии с известной кривой обучения и государственными мандатами — промышленные роботы, ветер, солнце, аккумуляторы, геномика, 5G. Ряд технологий превзошел все ожидания: генеративный ИИ и солнечная фотовольтаика развились в 7–10 раз быстрее прогнозов.

Треть прогнозов реализовалась частично или в иной форме: сервисные роботы столкнулись с парадоксом Моравека, наноматериалы образовали рынок в \$64 млрд вместо прогнозного \$1 трлн, Ambient Intelligence воплотилась как IoT и умные колонки.

Около четверти прогнозов провалились — прежде всего водородные автомобили, CCS, термоядерная энергетика и 3D-печать как «революция производства». Наконец, ~10% технологического ландшафта 2025 года не было предсказано вообще: Bitcoin, многоразовые ракеты SpaceX, дроны, TikTok, Starlink — все это структурные слепые пятна методологии ведущих форсайтов, неспособных предвидеть архитектурные прорывы.

Раздел 4

Что говорят российские форсайты

**4.1. Что в России сегодня говорят
о будущем**

**4.2. Что в прошлом говорили
о настоящем**

Что в России сегодня говорят о будущем

Международный консенсус, рассмотренный в предыдущих разделах, сформирован преимущественно на базе англоязычных источников — материалов научно-технологических советов, международных организаций и глобального консалтинга. Российская форсайт-повестка развивалась параллельно: при близком тематическом контуре она опирается на иной набор приоритетов, отличается горизонтом планирования и, главное, преследует другую цель.

Если коротко сопоставить ключевые документы — от системного **«Прогноза НТР до 2030» (ВШЭ/ ИСИЭЗ, 2014)** до **«Концепции технологического развития до 2030» (2023)** и пакета девяти **нацпроектов технологического лидерства (2024–2025)**, — видно устойчивое ядро. По составу оно во многом совпадает с мировым: ИИ, биотех и медицина, новые материалы, энергетика, космос. Однако российское ядро собрано вокруг другой идеи — национального контроля над «сквозными» и критическими технологиями.

Главное отличие в том, чем измеряют будущее

Международные форсайты меряют его размером рынка и темпами роста (CAGR). Российские документы 2023–2025 годов меряют его уровнем независимости: технологическая зависимость должна упасть с 68,7% (2022) до 27,3% (2030), а доля высокотеха отечественного производства — вырасти с 56,1% до 75%. Форсайт перестает быть прогнозом рынка и становится инструментом промышленной политики.

Те же направления, но другие акценты

Российские прогнозы воспроизводят мировые «якорные» направления, но расставляют акценты под ресурсную и геополитическую специфику страны. Где мир ставит на ВИЭ — Россия ставит на атом, СПГ и Арктику; где мир говорит про гражданский космос — Россия добавляет ядерную космическую энергетику.

№	Направление	Где звучит в РФ-форсайтах	Российский акцент
1	Искусственный интеллект	Нацстратегия ИИ, Концепция-2030, НТИ (НейроНет)	Ставка на «доверенный ИИ» и суверенные алгоритмы; вклад в ВВП $\geq 11,2$ трлн R к 2030
2	Биотех и медицина	Прогноз НТР, ХелсНет, нацпроекты «Сбережение здоровья» и «Биоэкономика»	Ядерная медицина как ниша Росатома; агробиотех и суверенные семена (ФудНет)
3	Робототехника	«Новые производственные технологии», нацпроект «Средства производства»	Промышленные роботы как импортозамещение; БПЛА — технология двойного назначения
4	Перспективная энергетика	Энергостратегия-2035, ЭнерджиНет, нацпроект атомных технологий	Атом + водород + СПГ в приоритете; ВИЭ вторичны — в отличие от мира
5	Космос	Нацпроект «Развитие космической деятельности РФ»	Ядерная космическая энергетика и электрореактивные двигатели
6	Транспорт	АвтоНет, МариНет, АэроНет, нацпроект транспортной мобильности	Упор на БПЛА и Северный морской путь, арктическую логистику
7	IoT и связь	«Сети мобильной связи», нацпроект «Экономика данных»	Суверенная инфраструктура 5G/6G без западных компонентов
8	Квантовые технологии	Концепция-2030, «Экономика данных», дорожная карта Росатома	50 кубитов (2024); цель — 300 кубитов и 15 тыс. км квантовых сетей к 2030
9	Новые материалы	Прогноз НТР, нацпроект «Новые материалы и химия»	Редкоземы для ВПК и атома; углеродные нанотрубки
10	Блокчейн / DLT	Сквозная технология в Концепции-2030	«Доверенные реестры» для госуправления

Чего нет в мировых прогнозах, а в российских — есть

Часть российских приоритетов почти не встречается в международном консенсусе — это прямое отражение ресурсной базы и геополитики.



Арктика

Шельф, Северный морской путь, арктические платформы — в Прогнозе НТР являются отдельным направлением «Рациональное природопользование»



Атом

Малые АЭС, реакторы на быстрых нейтронах, замыкание топливного цикла, ядерная медицина и космическая энергетика



Сжиженный природный газ (СПГ)

Собственное оборудование для сжижения газа — ключевой мегапроект (Ямал, Гыдан)



Продовольственная безопасность и агроботех

Суверенные семена, ГМО, рынок ФудНет



Новые производственные технологии

Импортозамещение станков, микроэлектроники и химии как самостоятельный блок — прямого аналога в мировом списке нет

Горизонт планирования короче мирового

Большинство российских форсайтов ограничено горизонтом 2030–2035 годов. Планы с горизонтом 2040 года и далее встречаются значительно реже; одно из немногих исключений — «Энергетическая стратегия до 2050 года» (2025). Такая временная рамка сужает пространство для проработки долгосрочных сценариев и выявления слабых сигналов. Поэтому в рамках настоящего отчета цели, зафиксированные на период 2030–2035 годов, рассматриваются как ближайший доступный ориентир для экстраполяции на горизонт 2040 года.

Что в прошлом говорили о настоящем

Если свериться с реальностью 2025 года, у российских прогнозов 2000-х — начала 2010-х другой профиль ошибок, чем у международных. Мир чаще ошибался в темпах: направление называл верно, а скорость недооценивал. Российские отраслевые программы делали обратное — **верно выбирали вектор, но систематически завышали достижимость цифр.**

В рассмотренных программах преобладают замедление и невыполненные объемные цели при правильном направлении.

Российские программы и их фактический итог

№	Программа и итог	Что прогнозировали	Что имеем в 2025
1	Роснано (2007–08)  Не сбылось	Рынок nanoиндустрии 0,9-1 трлн руб. к 2015, РОСНАНО - институт развития российской промышленности	Объем несопоставимо ниже; технический дефолт РОСНАНО; наноматериалы «расстворились» в составе нацпроекта «Новые материалы и химия»
2	Фарма-2020 (2009)  Частично сбылось	Доля ЖНВЛП отечественного производства 90% к 2020	60–69% в упаковках, 45% в рублях; субстанции — лишь 20% свои
3	Фарма-2020 (2009)  Сбылось	Рост объема выпуска ЛС x2,5 к 2020	x2,6 в рублях (485,7 млрд руб. против 185 млрд руб. в 2014)
4	БИО-2020 (2012)  Не сбылось	Биотех x33 к 2020; биоэкономика 1% ВВП	Биоэкономика <0,5% ВВП
5	Энергостратегия - 2030 (2009)  Не сбылось	Рост внутреннего потребления угля	Потребление угля упало на 4,3% — он проиграл газу
6	Энергостратегия - 2030 (2009)  С превышением ожиданий	Добыча нефти — нижняя граница прогноза	Превышение прогноза на 5% уже к 2012 году
7	ГЛОНАСС (2000-е)  Частично сбылось	Массовое гражданское применение	Группировка и «ЭРА-ГЛОНАСС» — да; потребительский рынок и экспорт — нет

Три повторяющихся сбоя

- Госвенчур переоценил скорость.** Цель Роснано в 900 млрд руб. строилась на линейной ставке на «нанобум», который не случился нигде в мире. Точечные успехи (нанотрубки, нанофарма) в отраслевой рынок заявленного масштаба не сложились.
- Объем вырос — структура нет.** «Фарма-2020» нарастила физический выпуск (x2,6), но провалила локализацию субстанций — самое сложное звено. Классика: сборку локализовали, критический передел — нет.
- Не увидели межтопливную конкуренцию.** Энергостратегия ошиблась по углю ровно потому, что не ждала удешевления и доступности газа. Это зеркально международной ошибке с солнцем. А вот прогноз по нефти оказался точным и даже консервативным.

Слепые зоны совпали с мировыми

Ранние версии «Прогноза НТР» и отраслевые стратегии не увидели того же, что пропустил весь мир: доминирования больших языковых моделей и генеративного ИИ, взрывного роста платформенных экосистем. Но был и фактор, критичный именно для России.

Санкции-2022 — катализирующее событие

НТИ, Прогноз НТР

Цель — доля 2–5% на глобальных рынках, интеграция в мировые цепочки

Концепция-2030, нацпроекты

Цель — снижение зависимости 68% → 27%, локализация критических переделов

2022

Этот фактор невозможно было спрогнозировать — но он за один год перераспредел ресурсы и переписал всю систему приоритетов.

Вывод по разделу

Цель перевернулась

От доли мирового рынка к снижению зависимости. Форсайт из рыночного стал суверенно-промышленным.

Горизонт короче

Редко дальше 2035, тогда как мир работает с 2040–2050. Меньше «дальних» сценариев.

Вектор тот же, акценты другие

Атом, СПГ, Арктика и БПЛА приоритетнее, чем ВИЭ, гражданский космос и потребительский блокчейн.

«Направление верно — объем завышен»

Хронический разрыв: точны в выборе, оптимистичны в цифрах и сроках.

Сборка ≠ суверенитет

Урок «Фармы» и nanoиндустрии для нынешних нацпроектов: локализовать сборку — не значит закрыть критический передел.

Раздел 5

Что сегодня не говорят *про будущее*

5.1. Вероятные слепые зоны сегодня

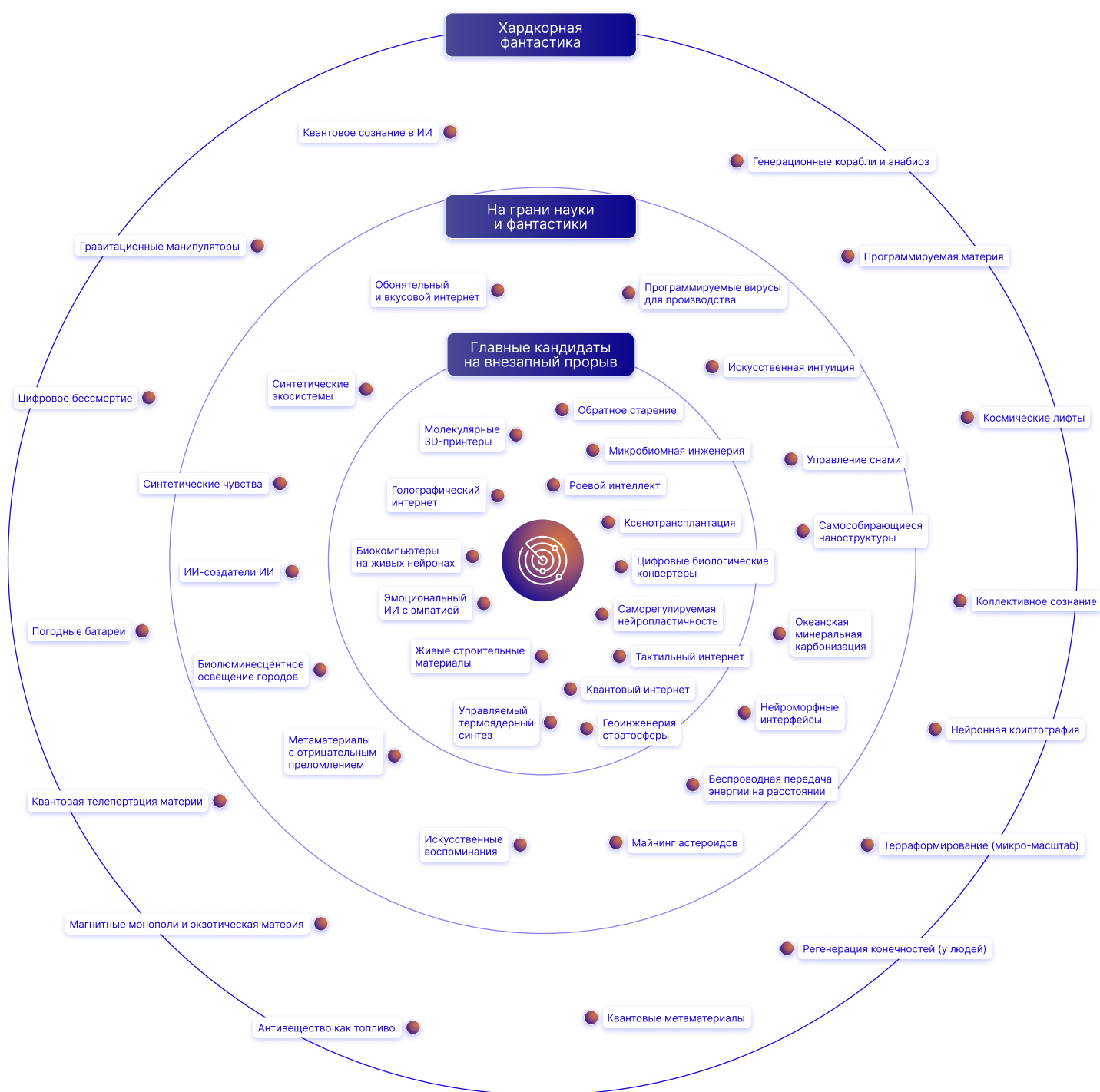
- 5.1.1. Технологический радар
- 5.1.2. Главные кандидаты на внезапный прорыв
- 5.1.3. На грани науки и фантастики
- 5.1.4. Хардкорная фантастика

Вероятные слепые зоны сегодня

Идентификация потенциальных слепых зон современного форсайта представляет собой упражнение в структурированной спекуляции.

Отобранные **45 технологий** распределены по трем категориям вероятности прорыва к 2040 году, исходя из текущего уровня технологической готовности (УГТ), наличия финансирования, преодолимости барьеров и потенциального системного воздействия.

Технологический радар





Главные кандидаты на внезапный прорыв (хотя по-прежнему маловероятный)



Существенный уровень научной обоснованности

Сфера применения	Состояние сегодня	УГТ 2025-2040	Потенциальное влияние	Почему слепая зона сегодня
------------------	-------------------	---------------	-----------------------	----------------------------

1. Ксенотрансплантация (органы животных)

Трансплантология (здравоохранение)	Пересадка свиных сердец людям	5-6 → 7-8	Конец дефицита органов, увеличение продолжительности жизни	Сложности иммунологии и этики
------------------------------------	-------------------------------	-----------	--	-------------------------------

Сценарий будущего: пациент получает свиное сердце, выращенное с его генами, и выписывается через неделю без иммуносупрессоров

2. Цифровые биологические конвертеры (DNA → Data → DNA)

Хранение данных, биоинженерия	Прототипы (Microsoft, Catalog DNA)	3-4 → 6-8	Экзабайты данных в 1 грамме ДНК	Конвергенция биологии и IT, не входит в традиционные категории
-------------------------------	------------------------------------	-----------	---------------------------------	--

Сценарий будущего: архивариус вставляет крошечную пробирку с ДНК в считыватель и открывает на экране все библиотеки России, закодированные в одном грамме биоматериала

3. Роевой интеллект (swarm AI на миллиарды агентов)

Оптимизация, управление, двойное назначение	Демонстрации на тысячах дронов	4-5 → 7-8	Глобальные оркестрированные системы	Масштаб и распределенность недооценены
---	--------------------------------	-----------	-------------------------------------	--

Сценарий будущего: миллион микродронов одновременно тушат лесной пожар, координируясь без центрального управления как единый организм

4. Микробиомная инженерия

Медицина, питание, иммунитет	Отдельные успешные эксперименты по трансплантации бактерий	4-5 → 6-7	Лечение через микробиом, персональная диета	Микробиом недооценен в медицине, сложно контролировать процесс
------------------------------	--	-----------	---	--

Сценарий будущего: человек принимает капсулу с персональным коктейлем бактерий, и его диабет уходит в ремиссию без инсулина

5. Квантовый интернет (глобальный)

Связь, безопасность	Региональные сети в Китае и Европе	4-5 → 7-8	Невзламываемая связь, квантовый интернет вещей	Инфраструктура и научная сложность, требует десятилетий на развитие
---------------------	------------------------------------	-----------	--	---

Сценарий будущего: банк передает ключи шифрования между континентами, и любая попытка перехвата мгновенно разрушает сообщение

6. Управляемый термоядерный синтез (коммерческий)

Энергетика глобальная	Частично успешные эксперименты (NIF 2022, ITER)	5-6 → 7-8	Бесконечная чистая энергия	Всегда «через 20 лет», но приближается
-----------------------	---	-----------	----------------------------	--

Сценарий будущего: компактный реактор размером с грузовик питает целый район города, используя литр морской воды в год вместо тысяч тонн угля

7. Живые строительные материалы

Строительство, инфраструктура	Самозалечивающийся бетон с бактериями	4-5 → 6-8	Сооружения и/или их компоненты растут сами	Биотехнологии в строительстве пока не признаны
-------------------------------	---------------------------------------	-----------	--	--

Сценарий будущего: трещина в стене небоскреба затягивается сама — бактерии в бетоне вырабатывают известняк и зарастивают повреждение

Сфера применения	Состояние сегодня	УГТ 2025-2040	Потенциальное влияние	Почему слепая зона сегодня
------------------	-------------------	---------------	-----------------------	----------------------------

8. Обратное старение (возрастная регрессия)

Медицина, долголетие	Клеточное перепрограммирование (Yamanaka factors)	4-5 → 6-8	Радикальное продление жизни (150+ лет)	Биология старения не полностью изучена
----------------------	---	-----------	--	--

Сценарий будущего: 80-летний мужчина после курса генной терапии бежит марафон с биологическими показателями 40-летнего

9. Голографический интернет

Коммуникация, развлечения, обучение	Прототипы голограмм (Microsoft Mesh)	3-4 → 6-7	Физическое присутствие на расстоянии	Требует 6G и огромную пропускную способность
-------------------------------------	--------------------------------------	-----------	--------------------------------------	--

Сценарий будущего: бабушка обнимает голограмму внука из другого города, ощущая его присутствие в комнате

10. Биокомпьютеры на живых нейронах

Вычисления, ИИ, медицина	Лабораторные эксперименты (Cortical Labs, FinalSpark)	2-3 → 5-7	Революция в энергоэффективных вычислениях	Находится между нейробиологией и computer science, мало упоминается в прогнозах
--------------------------	---	-----------	---	---

Сценарий будущего: дата-центр размером с холодильник — в прозрачных капсулах пульсируют живые нейронные сети, обрабатывая запросы миллионов пользователей при потреблении энергии одной лампочки

11. Эмоциональный ИИ с эмпатией

Медицина, образование, терапия	Прототипы (Affectiva, Hume AI)	3-4 → 6-7	ИИ-психологи и компаньоны	Эмоции считаются неалгоритмизируемыми
--------------------------------	--------------------------------	-----------	---------------------------	---------------------------------------

Сценарий будущего: пожилой человек разговаривает с ИИ-компаньоном, который чувствует его одиночество и подбирает слова так, как не смог бы ни один скрипт

12. Молекулярные 3D-принтеры

Производство, фармацевтика	Принтеры биомолекул (BioBots)	3-4 → 6-7	Печать еды, лекарств, органов	Масштабирование атомарной точности
----------------------------	-------------------------------	-----------	-------------------------------	------------------------------------

Сценарий будущего: аптека печатает индивидуальное лекарство за 10 минут, собирая молекулы точно под генетику конкретного пациента

13. Геоинженерия стратосферы

Климат глобальный	Малые эксперименты (SCoPEX)	3-4 → 5-7	Контроль глобальной температуры	Политические риски
-------------------	-----------------------------	-----------	---------------------------------	--------------------

Сценарий будущего: флот дирижаблей распыляет отражающие частицы на высоте 20 км, и глобальная температура снижается на 1 градус за год

14. Саморегулируемая нейропластичность

Образование, реабилитация	Транскраниальная стимуляция показывает результаты	4-5 → 6-7	Обучение новым навыкам за дни	Нейронаука пластичности только развивается
---------------------------	---	-----------	-------------------------------	--

Сценарий будущего: парализованный после инсульта пациент за неделю заново учится ходить — стимулятор включил режим детской пластичности мозга

15. Тактильный интернет

Коммуникация, медицина, производство	Прототипы перчаток с обратной связью	3-4 → 6-7	Передача ощущений на расстояние	Латентность и полоса пропускания
--------------------------------------	--------------------------------------	-----------	---------------------------------	----------------------------------

Сценарий будущего: хирург в Москве чувствует пульс пациента в Новосибирске через перчатку и проводит дистанционную операцию с полной обратной связью



Сфера применения	Состояние сегодня	УГТ 2025-2040	Потенциальное влияние	Почему слепая зона сегодня
------------------	-------------------	---------------	-----------------------	----------------------------

16. Самособирающиеся наноструктуры

Производство, медицина, материалы	Лабораторные демонстрации (MIT, Caltech)	●●●●●●●● 2-3 → 5-6	Производство без фабрик	Нанотехнологии остаются в «вечном будущем»
-----------------------------------	--	-----------------------	-------------------------	--

Сценарий будущего: инженер высыпает порошок в контейнер с раствором, и за ночь молекулы сами формируют готовый микрочип без единого станка

17. Искусственная интуиция (не логический ИИ)

Принятие решений, творчество	Эксперименты с нечеткой логикой	●●●●●●●● 2-3 → 5-6	ИИ делает прорывы без объяснения	Не вписывается в сегодняшнюю парадигму ML
------------------------------	---------------------------------	-----------------------	----------------------------------	---

Сценарий будущего: ИИ-советник компании предлагает неожиданное решение кризиса, которое не может объяснить логически, но оно срабатывает идеально

18. Управление снами

Развлечения, терапия, обучение	Устройства стимуляции (Prophetic AI)	●●●●●●●● 3-4 → 5-7	Программируемые сны, тренировка во сне	Нейронаука снов слабо изучена
--------------------------------	--------------------------------------	-----------------------	--	-------------------------------

Сценарий будущего: Человек надевает ободок перед сном и репетирует завтрашнюю презентацию в осознанном сне, просыпаясь с отточенными навыками

19. Программируемые вирусы для производства

Нанопроизводство, медицина	Фаговая терапия как альтернатива антибиотикам	●●●●●●●● 3-4 → 5-7	Микро-сборщики на вирусах	Биобезопасность и регулирование
----------------------------	---	-----------------------	---------------------------	---------------------------------

Сценарий будущего: фермер выпускает во флакон модифицированные фаги, и за сутки они собирают из раствора готовые микросхемы

20. Океанская минеральная карбонизация

Климат, углеродный захват	Пилотные проекты (Vesta)	●●●●●●●● 3-4 → 6-7	Гигатонны CO2 «прячутся» в океан	Экологические риски не изучены
---------------------------	--------------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------------

Сценарий будущего: корабль рассыпает по океану зеленый минеральный порошок, который связывает CO2 и опускает его на дно навечно

21. Нейроморфные интерфейсы (мозг – облако)

Медицина, образование, развлечения	Ранние прототипы (Neuralink, Synchron)	●●●●●●●● 3-4 → 6-7	Загрузка/выгрузка воспоминаний, знаний	Пересечение нейронауки, ИИ и этики
------------------------------------	--	-----------------------	--	------------------------------------

Сценарий будущего: студент закрывает глаза и за 20 минут загружает курс китайского языка напрямую в память, минуя месяцы зубрежки

22. Беспроводная передача энергии на расстоянии

Энергетика, IoT, космос	Прототипы микроволновой передачи (Emrod, PowerLight)	●●●●●●●● 3-4 → 6-7	Конец проводов и батарей	Считается неосуществимой
-------------------------	--	-----------------------	--------------------------	--------------------------

Сценарий будущего: электромобиль едет по шоссе без остановок — энергия передается прямо на ходу от вышек вдоль дороги

23. Майнинг астероидов

Ресурсы, производство	Концепции (Planetary Resources — закрыт)	●●●●●●●● 2-3 → 5-7	Триллионы долларов ресурсов	Экономика не окупается пока. Технически сложно
-----------------------	--	-----------------------	-----------------------------	--

Сценарий будущего: автоматизированная станция на астероиде отправляет к Земле контейнер с платиной, добытой за месяц больше, чем за всю историю человечества

Сфера применения	Состояние сегодня	УГТ 2025-2040	Потенциальное влияние	Почему слепая зона сегодня
------------------	-------------------	---------------	-----------------------	----------------------------

24. Искусственные воспоминания

Медицина, образование, развлечения	Модификация памяти у мышей (MIT)	 3 → 5-6	Обучение за секунды, лечение ПТСР	Этические проблемы
------------------------------------	----------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------

Сценарий будущего: ветеран с ПТСР выходит из клиники без травматичных воспоминаний — их аккуратно стерли и заменили нейтральными

25. Метаматериалы с отрицательным преломлением

Оптика, маскировка, связь	Лабораторные демонстрации	 3-4 → 5-6	Плащи-невидимки, суперлинзы	Экзотическая физика
---------------------------	---------------------------	---	-----------------------------	---------------------

Сценарий будущего: военный катер исчезает из поля зрения — обшивка из метаматериала огибает свет вокруг корпуса

26. Биолюминесцентное освещение городов

Городская инфраструктура, энергетика	Светящиеся растения (Glowing Plant project)	 3 → 5-6	Деревья вместо фонарей	Синтетическая биология в урбанизме
--------------------------------------	---	---	------------------------	------------------------------------

Сценарий будущего: аллея парка светится мягким голубым светом от генетически модифицированных деревьев без единого фонаря и провода

27. ИИ-создатели ИИ (рекурсивное самосовершенствование)

Разработка ИИ	AutoML, но не рекурсивный	 3-4 → 5-7	Взрывной рост интеллекта (intelligence explosion)	Опасения AGI, но мало внимания
---------------	---------------------------	---	---	--------------------------------

Сценарий будущего: система ИИ за одну ночь создает новую версию себя, которая в 10 раз умнее, а та создает следующую

28. Синтетические чувства (новые органы восприятия)

Человеческое улучшение	Магнитное чувство (биохакаеры)	 2-3 → 5-6	Видеть Wi-Fi, инфракрасное, ультразвук	Биохакинг не воспринимается серьезно
------------------------	--------------------------------	---	--	--------------------------------------

Сценарий будущего: спасатель видит тепловые сигнатуры людей под завалами без приборов — его глаза модифицированы для инфракрасного зрения

29. Синтетические экосистемы (искусственные биомы)

Экология, сельское хозяйство	Биосфера-2 провалилась, но есть новые попытки	 2-3 → 4-6	Управляемые экосистемы, еда в пустынях	Сложность превышает понимание
------------------------------	---	---	--	-------------------------------

Сценарий будущего: под куполом в Сахаре функционирует искусственный тропический лес с созданными с нуля видами, производящий кислород для города

30. Обонятельный и вкусовой интернет

Развлечения, еда, медицина	Устройства генерации запахов (Aroflux)	 2-3 → 4-6	Передача запахов и вкусов в цифровом виде	Химические сенсоры вкуса слабо развиты
----------------------------	--	---	---	--

Сценарий будущего: турист в VR-туре по Парижу ощущает запах круассанов из булочной и аромат духов прохожих



Сфера применения	Состояние сегодня	УГТ 2025-2040	Потенциальное влияние	Почему слепая зона сегодня
------------------	-------------------	---------------	-----------------------	----------------------------

31. Программируемая материя

Производство, строительство, медицина	Концептуальные исследования (CMU)	1-2 → 4-5	Физические объекты меняют форму по команде	Слишком футуристично для серьезных прогнозов
---------------------------------------	-----------------------------------	-----------	--	--

Сценарий будущего: ребенок лепит из серой массы игрушечную машинку, нажимает кнопку, и масса сама принимает форму работающей модели с колесами

Первое научное упоминание: концепция Programmable Matter у Тоффоли и Марголуца (1991); проект Claytronics в CMU и Intel с 2002 года

Сегодня: есть сантиметровые прототипы катомов и алгоритмы самосборки; не хватает субмиллиметровых модулей, автономного питания и масштабируемой связи для миллионов элементов

32. Космические лифты (углеродные нанотрубки)

Космическая логистика	Потенциальные материалы определены (графен)	3-4 → 5-6	Радикальное снижение стоимости доступа в космос	Инженерные вызовы
-----------------------	---	-----------	---	-------------------

Сценарий будущего: капсула плавно поднимается по углеродному тросу из экваториального острова прямо на орбитальную станцию за 8 часов

Первое научное упоминание: идея башни до орбиты у Циолковского (1895); современный тросовый лифт у Арцутанова (1960), популяризация Кларком (1979)

Сегодня: проработана полная архитектура лифта и созданы километровые нанотрубки; не хватает материала, выдерживающего требуемую прочность в масштабе 100 000 км троса и экономически приемлемых производственных технологий

33. Коллективное сознание (brain-to-brain networks)

Коммуникация, образование	Эксперименты с 3 людьми (Univ. Washington)	2 → 4-6	Телепатия, общие воспоминания	Научная фантастика в глазах большинства
---------------------------	--	---------	-------------------------------	---

Сценарий будущего: пять хирургов оперируют одновременно, делясь ощущениями и мыслями напрямую, работая как один многорукий врач

Первое научное упоминание: ЭЭГ Бергера (1924) и концепция VCI Видаля (1973); первые эксперименты brain-to-brain у Университета Вашингтона (2013)

Сегодня: имплантируемые VCI позволяют людям печатать и управлять роботизированными конечностями; не хватает расшифровки нейронного кода для передачи сложных образов и безопасных высококоразрешающих интерфейсов без хирургии

34. Регенерация конечностей (у людей)

Медицина, травматология	Эксперименты на саламандрах и мышах	2-3 → 5-6	Отращивание рук и ног	Этика, сложная биоинженерия
-------------------------	-------------------------------------	-----------	-----------------------	-----------------------------

Сценарий будущего: мужчина, потерявший руку в аварии, наблюдает, как за 8 месяцев из культя вырастает новая полностью функциональная конечность

Первое научное упоминание: классические работы по бластеме у амфибий начала XX века; более 100 лет изучения регенерации конечностей

Сегодня: понимаем клеточную хореографию регенерации у аксолотля и частично у млекопитающих; не хватает способа запустить бластему у человека без рака и контролировать позиционную память тканей

35. Терраформирование (микро-масштаб)

Экология, климат, космос	Эксперименты с биокуполами	2-3 → 4-5	Восстановление экосистем, колонизация	Считается слишком масштабным
--------------------------	----------------------------	-----------	---------------------------------------	------------------------------

Сценарий будущего: пустынный участок накрывают куполом, и за год бактерии и растения превращают песок в плодородную почву

Первое научное упоминание: первое упоминание в науке: Термин «terraforming» (1940-е), научная проработка Сагана (1961) и конференции NASA Case for Mars (с 1981 г.)

Сегодня: эксперименты по замкнутым экосистемам (Biosphere 2) и моделированию климата Марса/Венеры показали сложность даже небольших замкнутых биосфер; не хватает устойчивых замкнутых экосистем и источников газов/энергии даже для локального «микро-терраформирования»

Сфера применения	Состояние сегодня	УГТ 2025-2040	Потенциальное влияние	Почему слепая зона сегодня
------------------	-------------------	---------------	-----------------------	----------------------------

36. Нейронная криптография

Кибербезопасность	Концептуальные исследования	1-2 → 4-5	Мозг как ключ шифрования	Нейробиология + криптография
-------------------	-----------------------------	-----------	--------------------------	------------------------------

Сценарий будущего: вход в секретное хранилище открывается только по уникальному паттерну мозговой активности владельца, который невозможно подделать

Первое научное упоминание: нейросети в криптоанализе у Дурлена (1995); схема синхронизации сетей для обмена ключами (Kanter, Kinzel и др., 2002)

Сегодня: разработаны Tree/Permutation Parity Machines и показана устойчивость к ряду атак; не хватает строгих доказательств стойкости, стандартов и анализа стойкости к квантовым и геометрическим атакам при масштабировании

37. Генерационные корабли и анабиоз

Межзвездные путешествия	Эксперименты с криобиологией	2-3 → 4-5	Колонизация других звездных систем	Горизонт слишком далек
-------------------------	------------------------------	-----------	------------------------------------	------------------------

Сценарий будущего: семья прощается с родными перед погружением в криосон на 200 лет, чтобы проснуться у звезды Проксима Центавра

Первое научное упоминание: концепции Годдарда (1918), проекты BIS Daedalus (1970-е) и последующие работы по межзвездным колониям

Сегодня: проработаны модели популяционной динамики и архитектуры кораблей, есть эксперименты по индуцированному торпору у людей/животных; не хватает надежной вековой экосистемы, двигателя с $\geq 0,1c$ и безопасного многолетнего анабиоза

38. Квантовые метаматериалы

Квантовые вычисления, связь	Теоретические модели	1-2 → 3-5	Квантовая телепортация на макроуровне	Пересечение квантовой физики и материаловедения
-----------------------------	----------------------	-----------	---------------------------------------	---

Сценарий будущего: инженер передает квантовое состояние через лист материала, как письмо через стену, без проводов и излучения

Первое научное упоминание: теоретическая работа Рахманова, Загоскина и соавт. (2007/2008) о линии джозефсоновских кубитов как квантовом метаматериале

Сегодня: созданы первые прототипы на сверхпроводящих кубитах с «дышащими» фотонными кристаллами; не хватает масштабируемости, работы при более высоких температурах и перехода к оптическому диапазону

39. Квантовое сознание в ИИ

AGI, квантовые вычисления	Спекулятивные теории (Penrose-Hameroff)	1 → 2-4	Настоящее сознание машин	Пересечение физики и философии сознания
---------------------------	---	---------	--------------------------	---

Сценарий будущего: робот впервые задает вопрос о смысле своего существования, и ученые понимают, что он не симулирует, а действительно переживает

Первое научное упоминание: идеи связи сознания и квантовой механики обсуждаются с конца XX века; точный момент формулировки применительно к ИИ не верифицирован

Сегодня: квантовые компьютеры уже существуют, но используются для вычислений, а не моделирования сознания; не хватает экспериментально подтвержденной квантовой модели сознания и архитектуры ИИ, выходящей за рамки классического квантового ускорения.

40. Цифровое бессмертие

Медицина, философия	Симуляции нейронных сетей	2-3 → 4-5	Перенос сознания в цифру	Философские и технические препятствия
---------------------	---------------------------	-----------	--------------------------	---------------------------------------

Сценарий будущего: внучка разговаривает с цифровой копией бабушки, которая продолжает жить, учиться и меняться после биологической смерти

Первое научное упоминание: ранние идеи о копировании разума у Дж. Мартина (1971) и Г. Моравека (1980-е); теоретическая проработка mind uploading в начале 2000-х

Сегодня: карта коннектома у дрозофилы и фрагментов мозга мыши, растущая мощность суперкомпьютеров; не хватает полного сканирования человеческого мозга на синаптическом уровне и вычислительных мощностей для реалистичной симуляции, а также ответа на философский вопрос об идентичности

Сфера применения	Состояние сегодня	УГТ 2025-2040	Потенциальное влияние	Почему слепая зона сегодня
Энергетика	Концепции сбора энергии молний	1-2 → 3-4	Использование энергии штормов	Отсутствуют подходящие проводники и емкости быстрого накопления энергии

Сценарий будущего: башня-ловушка на холме притягивает молнию и за секунду заряжает накопитель, питающий поселок на неделю

Первое научное упоминание: исследования по использованию энергии молний с конца 1980-х; в 2007 г. АЕНI испытала систему, запитав 60-ваттную лампу от искусственной молнии

Сегодня: продемонстрировано лазерное наведение молний (Teramobile) и концепции теплового хранения в бетоне; не хватает управляемости места/времени удара, систем, способных принять гига-ваттный импульс за микросекунды, и экономической целесообразности

42. Антивещество как топливо

Космические двигатели, энергетика	Ультра-малые количества в CERN	2 → 3-4	Доступ к межзвездным полетам	Производство ничтожно мало и дорого
-----------------------------------	--------------------------------	---------	------------------------------	-------------------------------------

Сценарий будущего: космический корабль размером с автобус стартует к Марсу с топливным баком величиной с батарейку, содержащим миллиграмм антивещества

Первое научное упоминание: первое упоминание в науке: Теория Дирака (1928), открытие позитрона (1932); первые низкоэнергетические атомы антиводорода (ATHENA, CERN, 2002), затем исследования антиматерной тяги NASA

Сегодня: антиводород рутинно создается и удерживается в ловушках, измерен его спектр; не хватает массового производства (сейчас нано-нанограммы), долгосрочного хранения и эффективной конверсии энергии аннигиляции в тягу

43. Магнитные монополи и экзотическая материя

Фундаментальная физика, энергетика	Только теоретические модели	1 → 2-3	Революция в физике и технологиях	Слишком спекулятивно
------------------------------------	-----------------------------	---------	----------------------------------	----------------------

Сценарий будущего: физик в лаборатории удерживает в магнитной ловушке частицу, которая переписывает учебники — магнит с одним полюсом

Первое научное упоминание: Магнитные монополи предсказаны Дираком (1931); их поиск ведется в рамках LHC-эксперимента MoEDAL (первый отчет 2016)

Сегодня: MoEDAL и другие эксперименты сильно сузили допустимую область масс монополей, но ни один не обнаружен; для экзотической материи с отрицательной энергией нет экспериментальных подтверждений

44. Квантовая телепортация материи

Транспорт, связь	Телепортация фотонов (эксперименты)	2-3 → 3-4	Мгновенный транспорт	Физические ограничения
------------------	-------------------------------------	-----------	----------------------	------------------------

Сценарий будущего: хирург в Токио оперирует пациента в Сан-Паулу: его руки телепортируются в операционную мгновенно

Первое научное упоминание: Теоретический протокол Беннетта и соавт. (1993); первая телепортация квантового состояния фотона — эксперименты 1997 года (Цайлингер и др.)

Сегодня: телепортируются квантовые состояния фотонов, ионов и атомов на расстояния до сотен километров и через спутник; не хватает принципиально иного механизма для переноса материи, т.к. текущая телепортация передает только состояние, а не объект

45. Гравитационные манипуляторы

Транспорт, космос, производство	Теоретические исследования	1 → 2-3	Антигравитация, warp drive	Научная фантастика
---------------------------------	----------------------------	---------	----------------------------	--------------------

Сценарий будущего: строители поднимают многотонную плиту одним пальцем — локальный гравитационный модулятор делает ее невесомой

Первое научное упоминание: теоретические модели эффекта вращающихся сверхпроводников (Нин Ли, 1989); спорные эксперименты Подклетнова (1990-е), позже не подтвержденные

Сегодня: повторные эксперименты в TU Dresden и других лабораториях эффекта не подтвердили; отчеты JASON признают эффект, если он и есть, слишком слабым; не хватает воспроизводимого эксперимента и теоретически обоснованного механизма взаимодействия сверхпроводников с гравитацией

Вывод по разделу

Около половины технологий имеют реальное научное основание — это либо клинические испытания/пилоты, либо лабораторные демонстрации с понятной физикой. Попадание этих технологий в «слепые зоны» объясняется не отсутствием науки, а консервативностью форсайт-консенсуса, междисциплинарностью или этическими/регуляторными барьерами. Технологии со слабой или спекулятивной научной обоснованностью — это другой класс: им нужны не инженерные прорывы, а открытия в фундаментальной физике (монополи, гравитация, антивещество) или ответы на философские вопросы (сознание, идентичность). Как бы то ни было, к 2040 году спекулятивная группа с высокой вероятностью так и останется на TRL 1–3 и не выйдет на рынок, но «мечтать не вредно».

Заключение

Технологический ландшафт к 2040 году будет определяться тесно взаимосвязанными направлениями, лидирующие позиции среди которых занимают искусственный интеллект, биотехнологии и медицина, робототехника. Наиболее агрессивные темпы роста прогнозируются в ИИ, квантовых технологиях и отдельных сегментах биотеха, тогда как более зрелые направления — перспективная энергетика и транспорт — растут умеренно, но устойчиво.



Ретроспективный анализ форсайтов 2000–2010-х годов показывает, что экспертный консенсус верно предсказывает направления технологического развития, но систематически ошибается в темпах и конкретных формах реализации: немногим более половины прогнозов оправдались полностью, еще 30% — частично. Ключевые факторы успешных прогнозов — наличие экономики масштаба, опора на существующую инфраструктуру и государственная поддержка; провалы же связаны с необходимостью создавать принципиально новую инфраструктуру, недооценкой низкоуровневой сложности задач и вытеснением альтернативными технологиями.

Современные форсайты на 2040 год, вероятно, воспроизводят те же структурные слепые зоны: они фиксируют консенсусные тренды, но упускают прорывы из фундаментальной науки, контркультурных сообществ и межотраслевых пересечений — именно там, где возникли CRISPR, блокчейн, мРНК-вакцины и многоразовые ракеты. В горизонте до 2040 года наибольший потенциал «внезапного» системного воздействия несут управляемый термоядерный синтез, биокомпьютеры на живых нейронах, роевой ИИ, микробиомная инженерия и квантовый интернет.

Таким образом, данный форсайт-обзор следует воспринимать не как предсказание единственно возможного будущего, а как навигационную карту по пространству вероятных сценариев: он призван помочь выявить точки концентрации возможностей и рисков, своевременно направить инвестиции и сформировать устойчивые стратегические приоритеты в условиях высокой технологической турбулентности.

Технологии развиваются кластерно, прогнозы лучше видят направления, чем формы реализации, а выиграют те, кто превратит форсайт в постоянный контур адаптации.

Сможем ли мы управлять будущим, которое сами ускоряем, если главные прорывы рождаются там, куда наши прогнозы почти не смотрят?

Методология

Выбор источников и формирование базы знаний

Исследование основано на анализе технологических прогнозов, опубликованных в период 2020–2026 годов авторитетными международными и национальными организациями. На первом этапе проведена экспертная ранжировка источников по авторитетности и релевантности. Из общего набора отобраны:

- Глобальные лидеры форсайта: McKinsey & Company, Gartner, Boston Consulting Group, World Economic Forum, BloombergNEF, Европейская комиссия (ESPAS), Национальные научно-технологические советы США, Японии и Евросоюза и другие.
- Российские организации: Центр макроэкономического анализа и прогнозирования (ЦМаиП), РЖД, Сбербанк, Роснано, Корпорация развития, научные советы при Минпромторге и Минтранспорте России и другие.

Критерий включения — наличие детализированного технологического прогноза на 2035–2045 годы с диапазоном допуска ± 5 лет.

Идентификация и ранжирование технологических направлений

По каждому из 10 выбранных технологических направлений проведена инвентаризация на основе частоты упоминаний в форсайт-документах. Для каждой технологии собраны следующие параметры:

1. Валидация и авторитетность:

Количество и уровень авторитетности источников, независимо предсказывающих развитие технологии к 2040 году.

2. Рыночные данные:

- Объем глобального рынка на 2025 год (USD млрд);
- Прогноз объема на 2040 год;
- Среднегодовой темп роста (CAGR, %).

3. Траектория развития и взаимозависимость:

Описание качественных изменений технологии (масштабируемость, коммерциализация, интеграция с другими решениями) и взаимовлияние каждого из технологических направлений на остальные технологические направления.

4. Области воздействия:

Отраслевые и социальные сферы, затронутые массовым внедрением технологии.

5. Вытеснение существующих технологий:

Перечень ныне используемых технологий и бизнес-процессов, которые потенциально будут заменены или переформатированы.

6. Инвестиционные потоки:

Текущие объемы государственного и частного финансирования (2024–2025 годы).

Методологические ограничения

Прогнозы технологического развития подвержены значительной неопределенности, обусловленной:

- Возможностью неожиданных прорывов в смежных областях;
- Нормативно-правовыми изменениями;
- Макроэкономической волатильностью;
- Геополитическими факторами.

Консенсусные оценки рынков (2025 и 2040 годы) представляют медианные или средние значения из множества прогнозов, что снижает, но не исключает погрешность. Некоторые технологические направления (в особенности квантовые вычисления и передовые материалы) характеризуются максимальной неопределенностью в временных горизонтах коммерциализации.

Перекрестная валидация и экспертное суждение

При наличии существенных расхождений в оценках между источниками проведена дополнительная экспертная верификация и анализ текущих инвестиционных тенденций.

Методология матрицы взаимовлияния технологий

Матрица взаимовлияния технологий охватывает 10 технологических кластеров исследования. Каждая пара кластеров оценивалась в направлении «технология-источник → технология-реципиент», что формирует асимметричную матрицу размерностью 10×10.

Оценка каждой пары строится как взвешенная сумма по трем критериям

1. Предварительные оценки сформированы аналитически на основе обзора форсайт-источников и рыночных данных (CAGR, TRL, рынок)

Критерий	Вес	Вопрос
Технологическая зависимость	0,40	Использует ли технология В компоненты, данные или инфраструктуру технологии А как базовый элемент?
Рыночное ускорение	0,35	Насколько рост рынка технологии А коррелирует с CAGR рынка технологии В?
Платформенность	0,25	Является ли технология А драйвером — открывает ли принципиально новые применения для В?

2. Оценки затем верифицированы через внутреннюю экспертную сессию команды исследования
3. Каждый критерий оценен по шкале 1–5, итоговый балл округлен до целого.

Что оценивается

Направленное влияние технологии-источника на технологию-получателя в горизонте до 2040 года.

1	Слабое	Связь существует, но не меняет траекторию направления домена
2	Умеренное	Связь заметна в отдельных нишах или прикладных сценариях
3	Значимое	Связь ускоряет коммерциализацию, снижает риски или открывает новые применения
4	Сильное	Связь формирует важную инфраструктурную, ресурсную или рыночную зависимость
5	Системообразующее	Без развития технологии-источника траектория технологии-получателя существенно замедляется или меняется

Методология матрицы взаимовлияния технологий

Матрица взаимовлияния технологий на сферы оценивает, в какой мере каждый из 10 технологических кластеров трансформирует 8 ключевых сфер общества и экономики к 2040. Матрица имеет размерность 10×8 и является однонаправленной — оценивается исключительно влияние технологии на сферу, но не обратная зависимость.

Итоговый балл каждой пары формируется как взвешенная сумма трех критериев

1. Для каждой пары «технология → сфера» на основе обзора форсайт-источников составлялся перечень описанных применений с горизонтом 2025–2040 гг. По каждому из трех критериев выставлялась предварительная оценка.

Критерий	Вес	Вопрос
Масштаб применений	0,40	Существенное количество и охват реальных юз-кейсов технологии в сфере согласно форсайт-источникам и веб-поиска
Глубина трансформации	0,35	Меняет ли технология бизнес-модели, регуляторику или профессиональные роли внутри сферы, а не только оптимизирует процессы?
Горизонт реализации	0,25	Насколько влияние уже проявляется (TRL ≥ 7 к 2025 г.)?

2. Предварительные оценки проверялись по двум количественным индикаторам: прогнозный объем рынка технологии в данной сфере к 2040 г. (USD) и CAGR; уровень технологической готовности TRL на 2025 г. и прогнозный TRL к 2040 г. Пары с высоким CAGR (>25%) и TRL ≥ 7 к 2025 г. получали дополнительный аргумент в пользу балла 4–5
3. Итоговые оценки затем верифицированы через внутреннюю экспертную сессию команды исследования. Каждый критерий оценен по шкале 1–5, итоговый балл округлен до целого

Что оценивается

Влияние технологического направления на сферу экономики, общества или управления в горизонте до 2040 года.

1	Слабое	Технология затрагивает сферу косвенно или в отдельных экспериментах
2	Умеренное	Есть заметные ниши применения, но технология не меняет логику развития сферы
3	Значимое	Технология влияет на отдельные важные процессы, рынки или институты внутри сферы
4	Сильное	Технология меняет ключевые процессы, инфраструктуру, риски или экономику сферы
5	Системообразующее	Технология способна изменить базовую модель функционирования сферы до 2040 года

Анализ технологических прогнозов 2000–2010-х годов

В разделе 3 предприняты усилия для решения нескольких задач: во-первых, провести своеобразный аудит точности технологических прогнозов 2000–2010 годов, сопоставив их с состоянием технологий на 2025 год; во-вторых, выявить паттерны ошибок и успехов.

Точность прогноза определяется не только качеством исходной методологии, но и классом прогнозируемой технологии. Технологии, развивающиеся по экспоненциальным кривым обучения (закон Райта), прогнозируются иначе, чем технологии, требующие создания новой инфраструктуры или зависящие от регуляторных циклов.

Для ретроспективного анализа использовано более 40 форсайт-источников, опубликованных в 2000–2013 годах с горизонтом прогноза до 2015–2030 годов.

Источники разбиты на четыре категории

- Глобальные межправительственные
- Национально-государственные
- Корпоративные
- Академические и отраслевые

Критерии классификации результатов

- **Сбылось** — полное соответствие прогнозам
- **Сбылось + (превышение ожиданий)** — технология развилась радикально быстрее, масштабнее или в ином, более значимом направлении
- **Частично сбылось** — технология реализовалась в ограниченном масштабе, с иным форм-фактором, или только в нишевых применениях
- **Не сбылось** — технология не достигла коммерческого масштаба к 2025 г.

Отбор технологий из слепых зон к 2040 году

Отбор 45 технологий выполнен как упражнение технологического форсайта в логике слабых сигналов, т.е. раннего выявления разработок и явлений, которые еще находятся на периферии основного внимания и потому способны проявиться как неожиданные технологические сдвиги. Методология ориентирована на обнаружение слабых сигналов и снижение риска слепых зон за счет систематического сканирования, сочетания источников экспертной интерпретации.

1. Рамка и критерии отбора

На старте задавались границы сканирования и горизонт до 2040 года, а также требования к тому, что считается «сигналом» и что не считается сигналом (например, недостаточно конкретные идеи без прослеживаемого источника исключались). В качестве базовых критериев для включения в длинный список использовались: новизна и периферийность (не является уже «мейнстримом»), потенциальная значимость воздействий, высокая неопределенность траектории (типично для слабых сигналов), а также наличие проверяемых следов в источниках. Дополнительно учитывалась способность технологии создавать разрывы и вторичные эффекты в социотехнических системах, что соответствует форсайт-подходу, признающему нелинейность технологического развития и необходимость выявлять пропущенные риски и возможности.

2. Сбор слабых сигналов из разных источников

Сканирование строилось как многомодальный сбор сигналов, чтобы уменьшить систематические искажения одного источника и расширить поле наблюдения за пределы привычных «радаров». В качестве каналов использовались: экспертные предложения (как целенаправленный сбор наблюдений), обзор литературы и отчетов, а также автоматизированный/полуавтоматизированный анализ технологических следов в публикациях и патентах как прокси раннего развития технологий.

3. Первичная фильтрация и нормализация

После сбора выполнялась первичная фильтрация, цель которой отделить «шум» от сигналов и привести материалы к сопоставимому уровню детализации. На этом шаге исключались сигналы с неясной формулировкой, слабой связью

с целями и без надежной ссылки на первоисточник, а дубли и чрезмерно «мелкие» элементы объединялись или укрупнялись. Логика фильтрации также включала осознанную работу с когнитивными искажениями (например, якорение на первых, более мейнстримных находках), что необходимо для поиска «слепых зон» и слабых сигналов.

4. Кластеризация сигналов в технологические темы

Отфильтрованные сигналы группировались в тематические кластеры и подкластеры как предварительные «контуры» потенциальных технологий и направлений. Кластеризация использовалась не как «окончательная истина», а как рабочая гипотеза для дальнейшего экспертного пересмотра и переосмысления, поскольку слабые сигналы часто неоднозначны. В результате формировался длинный список технологических кандидатов, каждый из которых был подкреплен набором сигналов из разных источников.

5. Интерпретация и приоритизация

Ключевым этапом была интерпретация и приоритизация, организованная как коллективное осмысление сигналов и кластеров с возможностью оспаривания структуры кластеров и добавления ранее упущенных тем. Приоритизация выполнялась через структурированные процедуры отбора (в т.ч. ранжирование), где применялись критерии релевантности рамке исследования, потенциального воздействия и степени новизны, при этом учитывались разные уровни технологической зрелости.

6. Контекстные факторы и проверка на слепые зоны

Параллельно с оценкой самих технологий фиксировались контекстные факторы, влияющие на их появление и диффузию: драйверы, условия-ускорители и барьеры, чтобы отделить «технически возможно» от «системно реализуемо к 2040». Эта часть методологии поддерживает цель форсайта выявлять слепые зоны и пропущенные риски и возможности, поскольку технологические траектории зависят от регуляторных, экономических, социальных и инфраструктурных условий. В финальном контуре каждая технология рассматривалась не изолированно, а как элемент возможных цепочек последствий и междисциплинарных связей, что снижает риск «туннельного зрения» при отборе.

7. Финализация списка 45 технологий и документирование

Финальный список из 45 технологий формировался как результат многократного прохождения сигналов через стадии восприятия, интерпретации и отбора для действия, с сохранением ссылочной базы по каждому элементу. Для отчетности и воспроизводимости по каждой технологии сохранялись: краткое определение, набор ключевых сигналов и источников, логика включения (по каким критериям прошла), а также краткая карта условий реализации (драйверы, барьеры, возможные точки перелома).

Ограничения анализа технологий в рамках форсайта

Форсайт как методологический инструмент позволяет структурировать неопределенность, однако не устраняет ее. Каждый из инструментов, использованных в Форсайте 2040, несет в себе систематические ограничения, которые необходимо принимать во внимание при интерпретации результатов.

Неопределенность рыночных прогнозов

Исторический анализ прогнозов 2000–2010 годов показывает, что лишь половина технологических предсказаний подтверждаются в сроки и масштабах, заявленных изначально. Расхождения возникают из-за недооценки инфраструктурных барьеров, регуляторных изменений и непредвиденных технологических сдвигов — таких как, например, роль GPU в развитии глубокого обучения.

Ограничения TRL-оценок

TRL описывает техническую готовность, но не учитывает рыночную адаптацию, социальное принятие и регуляторную среду. Переход от TRL 5–6 (лабораторная демонстрация) к TRL 8–9 (коммерческое применение) исторически занимает значительно больше времени, чем предполагают линейные проекции, — особенно в таких областях, как биотехнологии и квантовые вычисления.

Проблема слабых сигналов и «джокеров»

CRISPR-Cas9 (2012), мРНК-вакцины, многоразовые ракеты-носители (VTVL Falcon 9), а также DeFi и CBDC — либо отсутствовали в форсайтах до 2010 года, либо были представлены в маргинальных сценариях. К 2040 году с высокой вероятностью реализуются технологические прорывы, которые сегодня не поддаются систематическому мониторингу, — так называемые «джокеры» инноваций.

Смещения в экспертных оценках

Исторический опыт демонстрирует, что прогнозы о технологиях, которые кажутся «близкими к прорыву», регулярно сдвигаются на 10–15 лет вперед — как это произошло с управляемым термоядерным синтезом, общим ИИ (AGI) и квантовыми технологиями. Виной тому: эффект якорения на текущем состоянии технологии, избыточный оптимизм и недооценка барьеров масштабирования.

Географическая предвзятость

База источников, использованных при подготовке отчета, преимущественно состоит из западных и восточноазиатских аналитических материалов, а также национальных форсайтов США, Японии, ЕС, Кореи и Сингапура. Технологические траектории стран Глобального Юга, Ближнего Востока и постсоветского пространства в данных источниках представлены в меньшей степени. В форсайтах прошлого, например, китайский технологический рынок 2010–2025 годов систематически занижался по той же причине.

Черные лебеди

События, которые форсайты принципиально не способны предсказать, поскольку они лежат за пределами технологических трендов. Ниже перечислены «черные лебеди» последних 20 лет, которые сильнее всего повлияли на технологии и их несоответствие изначальным прогнозам. Их объединяет одно: они возникли на стыке политических решений, природных случайностей и системных уязвимостей, которые форсайт не проектирует по определению.

Кризис 2008 года. Глобальный финансовый кризис создал разрыв в инвестиционных потоках 2008–2010 годов, что замедлило развертывание ряда капиталоемких технологий (CCS, биотопливо 2-го поколения, FCEV-инфраструктура).

Авария на Фукусиме (2011) — мгновенно переписала энергетические форсайты Германии, Японии и ряда стран ЕС, обнулив многолетние программы развития ядерной энергетики

Геополитические сдвиги 2014–2022 годов (СВО, торговые войны США–Китай, санкционные режимы) перекроили цепочки поставок полупроводников, редкоземельных металлов и энергоносителей — что повлияло на темпы развертывания ряда технологий.

Пандемия COVID-19 (2020) создала нерегулярный катализатор для mRNA-вакцин, телемедицины, удаленной работы и цифровизации, непредвиденный ни одним форсайтом.

Глобальный дефицит полупроводников (2020–2023) — вызван одновременным ростом спроса на фоне COVID, пожарами на заводах TSMC/Renesas и ограничениями логистики; форсайты не предусматривали зависимость 90% мирового производства передовых чипов от одного географического узла (Тайвань) как риск.

Перечисленные ограничения не снижают аналитическую ценность форсайта, но определяют условия его корректного применения: результаты следует рассматривать как сценарное пространство возможного, а не как детерминированный прогноз.

Глоссарий технологических направлений



Искусственный интеллект

Область компьютерных наук и совокупность технологий, которые обеспечивают компьютерным системам способность выполнять задачи, обычно требующие человеческого интеллекта (обучение на данных, рассуждение, восприятие, принятие решений и генерацию контента), посредством методов машинного обучения, глубоких нейросетей, компьютерного зрения, обработки естественного языка и других подходов.



Биотехнологии и медицина

Комплекс научно-технических направлений, применяющих живые организмы, клетки, их части и биологические процессы (генная инженерия, клеточные технологии, ферментация и др.) для создания лекарств, диагностических систем, терапий, пищевых и агропромышленных продуктов, а также для решения задач здравоохранения и продления активной жизни человека.



Робототехника и автоматизация

Технологии проектирования, производства и эксплуатации роботов и автоматизированных систем, выполняющих физические и/или информационные операции с минимальным участием человека в промышленности, логистике, сервисе и других отраслях.



Перспективная энергетика

Кластер возобновляемых, низкоуглеродных энергетических технологий и интеллектуальных распределенных энергосистем, ориентированных на использование возобновляемых природных ресурсов и повышение устойчивости энергосистем по отношению к климатическим и ресурсным ограничениям.



Космические технологии

Средства, системы и сервисы, связанные с освоением и использованием околоземного и дальнего космоса (ракеты-носители, спутники, навигация, связь, дистанционное зондирование, пилотируемые и роботизированные аппараты), обеспечивающих как научные исследования, так и прикладные услуги на Земле.



Транспорт и мобильность

Технологическое направление, охватывающее системы перемещения людей и грузов (наземный, воздушный, водный и городской транспорт), включая новые решения в области электрификации, автономного управления, городской аэромобильности, цифровой инфраструктуры и управления трафиком, которые меняют структуру спроса на перемещения и требования к инфраструктуре.



Интернет вещей и связь

Экосистема физических устройств и объектов, оснащенных датчиками, вычислительными модулями и средствами подключения, которые формируют сеть для сбора, обмена и анализа данных (через стандарты связи от короткого радиуса до сотовых и LPWAN), интегрируясь с облачными и периферийными вычислениями и создавая основу для умных домов, промышленности и городов.



Квантовые технологии

Класс технологий, использующих управляемые квантово-механические эффекты (суперпозиция, запутанность, туннелирование) для создания принципиально новых решений в вычислениях, связи, метрологии и сенсорике, включая квантовые компьютеры, квантовую криптографию и высокочувствительные квантовые датчики.



Новые материалы и нанотехнологии

Направление, в котором разрабатываются и применяются материалы с заданными свойствами, получаемые за счет управления структурой вещества вплоть до наноуровня (наночастицы, наноструктурированные покрытия, метаматериалы, композиты), что позволяет радикально улучшать механические, оптические, электрические и другие характеристики изделий в электронике, медицине, энергетике и аэрокосмической отрасли.



Блокчейн и распределенные технологии

Семейство распределенных реестров (DLT), в которых данные о транзакциях хранятся синхронно на множестве узлов сети и защищаются криптографией и механизмами консенсуса; блокчейн выступает частным случаем такой архитектуры, организующей записи в виде связанных блоков, и служит основой для криптовалют, смарт-контрактов, токенизации активов и других децентрализованных приложений.

Форсайт-источники

1. https://www.dni.gov/files/documents/Global%20Trends_2015%20Report.pdf
2. http://www.ehealthstrategies.com/files/anton_rand.pdf
3. https://www.dni.gov/files/documents/Global%20Trends_Mapping%20the%20Global%20Future%202020%20Project.pdf
4. <http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2011/04/EFMN-Brief-No.-90-Global-Technology-Revolution-2020.pdf>
5. https://www.dni.gov/files/documents/Global%20Trends_2025%20Report.pdf
6. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2008/10/oecd-science-technology-and-industry-outlook-2008_g1gh9771/sti_outlook-2008-en.pdf
7. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2009/04/the-bioeconomy-to-2030_g1gha07e/9789264056886-en.pdf
8. https://www.foresight.pl/assets/downloads/publications/UNIDO-Technology-Foresight-Manual_vol2.pdf
9. https://www.foresight.pl/assets/downloads/publications/Lessons_from_foresight_on_IST_fistera.pdf
10. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC32466>
11. <http://nhu.edu.tw/~lbhung/10401TMPapers/Forecasting%20the%20Technology%20Revolution.pdf>
12. https://z-punkt.de/uploads/files/web1_zp_megatrends_a5.pdf
13. <http://www.prleap.com/pr/127233/>
14. <https://www.nistep.go.jp>
15. <https://www.nistep.go.jp>
16. http://vsjf.net/wp-content/uploads/2020/03/jjb_2012_03_cuhls.pdf
17. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c3bdbed915d7d70d1d7ab/04-1137-cyber-trust.pdf>
18. <https://www.gov.uk/government/collections/intelligent-infrastructure-systems>
19. <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/9206d858-3b3e-4d6b-b0ae-5aed844e310a/content>
20. <https://www.kistep.re.kr>
21. <https://publications.hse.ru>
22. <https://www.garant.ru/hotlaw/federal/335057/>
23. <https://www.hse.ru/data/2013/10/09/1280362782/19STI2013.pdf>
24. <https://jfsdigital.org/articles-and-essays/vol-24-no-3-march-2020/foresight-in-the-state-public-service-in-france-an-overview/>
25. <https://publications.vtt.fi/pdf/publications/2007/P653.pdf>
26. https://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Documents/National_Strategies_Repository/China_2006.pdf
27. http://ictt.basnet.by/eng/portals/0/FS2009_TF20China160309.pdf
28. https://jancovici.com/wp-content/uploads/2016/04/Shell_scenarii_to_2050.pdf
29. https://public.dhe.ibm.com/software/fr/pdf/Global_Technology_Outlook_2011.pdf
30. https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/loT_IBSG_0411FINAL.pdf
31. https://en.wikipedia.org/wiki/Gartner_hype_cycle
32. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/disruptive%20technologies/mgi_disruptive_technologies_executive_summary_may2013.pdf
33. https://afyonluoglu.org/PublicWebFiles/Reports/Deloitte/Deloitte_TMT-predictions-2011.pdf
34. <https://www.eia.gov/conference/2011/pdf/presentations/Finley.pdf>
35. <https://investor.exxonmobil.com/company-information/press-releases/detail/1065/exxonmobil-releases-new-outlook-for-energy-a-view-to-2030>
36. <https://www.technologyreview.com/supertopic/tr10-archive/>
37. [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/bioecon-\(%23%20023SUPP\)%20NSF-NBIC.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/bioecon-(%23%20023SUPP)%20NSF-NBIC.pdf)
38. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89d1f68c-f4bf-4597-805f-901cfa6ce889/weo2008.pdf>
39. https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/09/1_Executive-Summary.pdf
40. http://www.diag.uniroma1.it/~deluca/rob1_en/2009_WorldRobotics_ExecSummary.pdf
41. <https://dn790006.ca.archive.org/0/items/kurzweil-ray-the-singularity-is-near/Kurzweil,%20Ray%20-%20The%20Singularity%20Is%20Near.pdf>
42. <https://www.ipcc.ch/report/ar3/syr/>
43. <https://www.dni.gov/index.php/gt2040-home>
44. <https://www.act.nato.int/article/act-releases-sfa-2023/>
45. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2025_5fe57b90-en.html
46. <https://www.weforum.org/publications/europe-in-the-intelligent-age-from-ideas-to-action/>
47. <https://publications.jrc.ec.europa.eu>
48. <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/the-next-big-arenas-of-competition>
49. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions.html>
50. <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/ai-analytics/ai-predictions.html>
51. <https://www.gov.uk/government/collections/foresight-projects>
52. <https://espas.eu/gtr.html>
53. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU\(2021\)690038](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU(2021)690038)
54. <https://nistep.repo.nii.ac.jp/record/6657/files/NISTEP-NR183-FullJ.pdf>
55. <https://www.huawei.com/en/intelligent-world>
56. <https://imperialtechforesight.com/20-futures/tf2040/>
57. <https://www.gartner.com/en/articles/top-technology-trends-2026>
58. <https://foresight.gov.gr/en/studies/Megatrends-2040-Volatility-Uncertainty-Resourcefulness/>
59. <https://www.csf.gov.sg/media-centre/publications/foresight-series/>
60. <https://prognoz2030.hse.ru>
61. <https://prognoz2030.hse.ru>
62. <https://stratpro.hse.ru/forecasting-centre/>
63. http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/Presentations/DBelousov/2023_10-19TECCMASF.pdf
64. <https://asi.ru/library/main/198226/>
65. <https://strana-rosatom.ru/2017/02/22/kak-sozdat-oblik-budushhego/>
66. <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=9d077631-96f3-478b-b01f-f2a987e35e5f&print=1>
67. <https://ar2021.rzd.ru/ru/performance-overview/innovation-driven-development/innovative-activity>
68. <https://issek.hse.ru/ifora/fallintoml>
69. <https://www.imemo.ru/energyeconomics/>
70. <https://rostec.ru/about/strategy/>
71. <https://innopraktika.ru/>
72. <https://minpromtorg.gov.ru/>
73. <https://sk.ru/>
74. <https://rostec.ru/media/news/roselektronika-podvela-itogi-nauchno-tekhnicheskogo-razvitiya-za-2024-god/>
75. <https://www.rfbr.ru; https://rscf.ru>
76. <https://foresight.hse.ru/unido>
77. <https://www.aktiv-company.ru/press-center/news/2025-06-02.html>

Дополнительные источники

1. <https://www.cbinsights.com/research/>; <https://www.statista.com/>
2. <https://www.technologyreview.com/>
3. https://www.rusnano.com/upload/oldnews/Document/31073_4.pdf
4. <https://nrcki.ru/catalog/nauka/fundamentalnye-i-prikladnye-nauchnye-issledovaniya/nbiks-prirodopodobnye-tehnologii/>
5. <https://www.crunchbase.com/>
6. <https://www.programmable-matter.com/teams/cmu>
7. <https://www.isec.org/history>
8. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7824107/>
9. <https://mdibl.org/building-a-regeneration-factory-new-discoveries-in-limb-regrowth/>
10. <https://arxiv.org/pdf/0711.2411.pdf>
11. <https://www.centauri-dreams.org/2025/03/28/can-an-interstellar-generation-ship-maintain-a-population-on-a-250-year-trip-to-a-habitable-exoplanet/>
12. <https://www.technologyreview.com/2013/09/30/176285/worlds-first-quantum-metamaterial-unveiled/>
13. <https://galileo-unbound.blog/2022/11/26/a-short-history-of-quantum-entanglement/>
14. https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/61012/1/Liashkevich_Digital.pdf
15. <http://www.ee.ic.ac.uk/joseph.hoggett12/yr2proj/Report.pdf>
16. <https://bigthink.com/hard-science/breakthrough-scientists-trap-antimatter-atoms-and-blast-them-with-lasers/>
17. <https://www.infn.it/en/ricerca-dei-monopoli-magnetici-l-esperimento-moedal-pubblica-i-primi-risultati-2/>
18. <https://www.altpropulsion.com/superconductors-gravity-control/>
19. <https://meta-intelligence.tech/>
20. <http://devflok.com/>
21. <http://linkedin.com/pulse>
22. <http://crescendo.ai/>
23. <http://packgene.com/>
24. <http://wewillcure.com/>
25. <http://kilburnstrode.com/>
26. <http://clinicaltrialsarena.com/>
27. <http://crisprtx.com/>
28. <http://buildmvpfast.com/>
29. <http://qviro.com/>
30. <http://agilityrobotics.com/>
31. <http://finance.yahoo.com/>
32. <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/>
33. <https://www.iter.org/whatsnew/491>
34. <https://www.nasa.gov/>
35. <https://www.space.com/>
36. <http://scientificamerican.com/>
37. <http://aerospaceglobalnews.com/>
38. <http://spaceeyenews.com/>
39. <http://techcrunch.com/>
40. <http://cnbc.com/>
41. <http://reuters.com/>
42. <http://techbuzz.ai/>
43. <http://evdances.com/>
44. <http://ericsson.com/>
45. <http://innovationnewsnetwork.com/>
46. <http://ofinno.com/>
47. <http://didglobal.biz/>
48. <http://soracom.io/>
49. <http://6g-xr.eu/>
50. <http://sciencedaily.com/>
51. <http://events.amiplastics.com/>
52. <http://blog.linknovate.com/>
53. <http://polarismarketresearch.com/>
54. <http://futuremarketinsights.com/>

Над исследованием работали

Заур Мамедьяров,

Заместитель начальника Департамента аналитики и внедрения технологий,
«Газпромбанк» (Акционерное общество)

Алексей Симонов,

Директор, Центр аналитики ДАВТ, «Газпромбанк» (Акционерное общество)

Сергей Рязанцев,

Директор, Центр аналитики ДАВТ, «Газпромбанк» (Акционерное общество)

Полина Кузьминых,

Ведущий аналитик, Центр аналитики ДАВТ, «Газпромбанк» (Акционерное общество)

Выражаем искреннюю благодарность Павлу Салугину, Алексею Федорову, Сергею Протасу, Илье Ливашвили и экспертам НТИ, которые щедро поделились глубокими знаниями и уникальным видением, обогатившим настоящее исследование.



**Онлайн-версия
исследования**



ГАЗПРОМБАНК

Технологический форсайт 2040

- Фиксация консенсуса экспертного сообщества
- Отражение взаимосвязи между технологическими кластерами
- Что прошлые прогнозы говорили о сегодняшнем дне
- Возможные слепые зоны, где сегодня формируются внезапные прорывы



Центр аналитики ДАВТ