



Биоэкономика

Трансформация глобальной
экономической системы и опора
национальной безопасности

Август 2025

- Благодаря развитию биоэкономики мир переживает одну из самых масштабных трансформаций в истории.
- Биотехнологии позволяют создавать «дизайнерские» организмы с учетом потребностей экономики.
- Это ключевой фактор для обеспечения национальной безопасности, продовольственной и энергетической независимости.
- Более 50 стран приняли стратегии в этой области, стремясь использовать возможности биотеха.
- Россия в числе лидеров по биологическим ресурсам, но отстает в реализации биотех-проектов.

С развитием биоэкономики в мире началась технологическая революция, которая характеризуется переходом от ископаемого сырья к живым системам как источнику еды, материалов, энергии и лекарств. Это меняет правила игры во всех отраслях, что делает биоэкономику важнейшим фактором экономического и технологического развития. Россия наряду с США и Китаем входит в число стран с наибольшим потенциалом в этой области, но для его реализации потребуются наращивание инвестиций и активизация внедрения биотехнологических проектов.

Новый технологический уклад

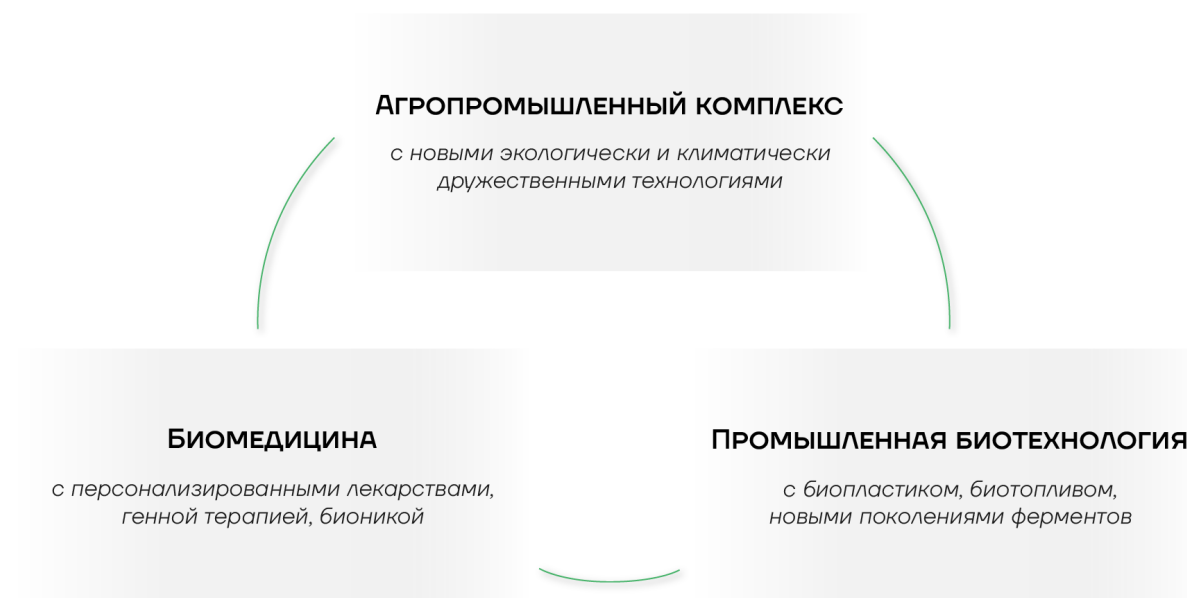
По мере развития биотехнологий меняется «ДНК» экономики. Происходит стремительный переход к использованию возобновляемого сырья — биомассы, в том числе водорослей и быстрорастущих растений, отходов, а также микроорганизмов. В рамках новой парадигмы производства применяются замкнутые циклы, когда промышленные и бытовые отходы не выбрасываются, а становятся сырьем для новых продуктов, включая топливо и пластик. В перспективе углеводороды будут все больше замещаться биотопливом и биогазом, что будет способствовать сокращению выбросов углерода.

Биоэкономика не только воплощает принципы экономики замкнутого цикла, сокращая количество отходов, но и помогает сохранять и восстанавливать

биоразнообразии. Генетическое редактирование и методы конструирования биомолекул на основе искусственного интеллекта позволяют создавать «дизайнерские» организмы, исходя из потребностей экономики.

В мире растет спрос на биотехнологические инструменты для сельскохозяйственного применения, включая микроклональное размножение растений — один из способов вегетативного размножения в условиях «in vitro», — а также молекулярную селекцию, культивирование тканей, традиционную селекцию растений и выведение генетически модифицированных культур. Так, все более популярными становятся генномодифицированные семена, устойчивые к гербицидам и насекомым.

КЛЮЧЕВЫЕ СЕГМЕНТЫ БИОЭКОНОМИКИ



Исследования в таких областях, как геномика, белковый дизайн и белковая инженерия, создание лекарств и персонализированная медицина, могут расширить возможности манипулирования биологическими системами и пониманию их на молекулярном уровне. В перспективе это откроет новые возможности для инноваций в медицине, сельском хозяйстве и устойчивых промышленных процессах.

Кроме того, биотехнологии способны кардинально преобразовать военный потенциал государств. Достижения в области белковой инженерии и разработки лекарств, такие как AlphaFold, а также в области геномного редактирования, такие как CRISPR-Cas-9, могут изменить методы ведения войн. Возможность модифицировать молекулярные структуры откроет путь к созданию новых

боевых биологических и химических агентов, способных оказывать сильное сдерживающее воздействие на противника. В то же время распространение технологий редактирования генов ставит вопросы о потенциальных модификациях организмов военнослужащих для улучшения их физических и когнитивных способностей. Создание «суперсолдат» может обеспечить стратегическое, оперативное и тактическое преимущество на поле боя, повысив эффективность и боеспособность войск. Управление перспективных исследовательских проектов (DARPA) Минобороны США уже финансирует различные программы, использующие биотехнологии для решения этих задач. Например, программа Continuous Assisted Performance направлена на поиск способов предотвращения переутомления, чтобы солдаты могли бодрствовать и быть в боевой готовности до семи дней, не страдая от усталости.

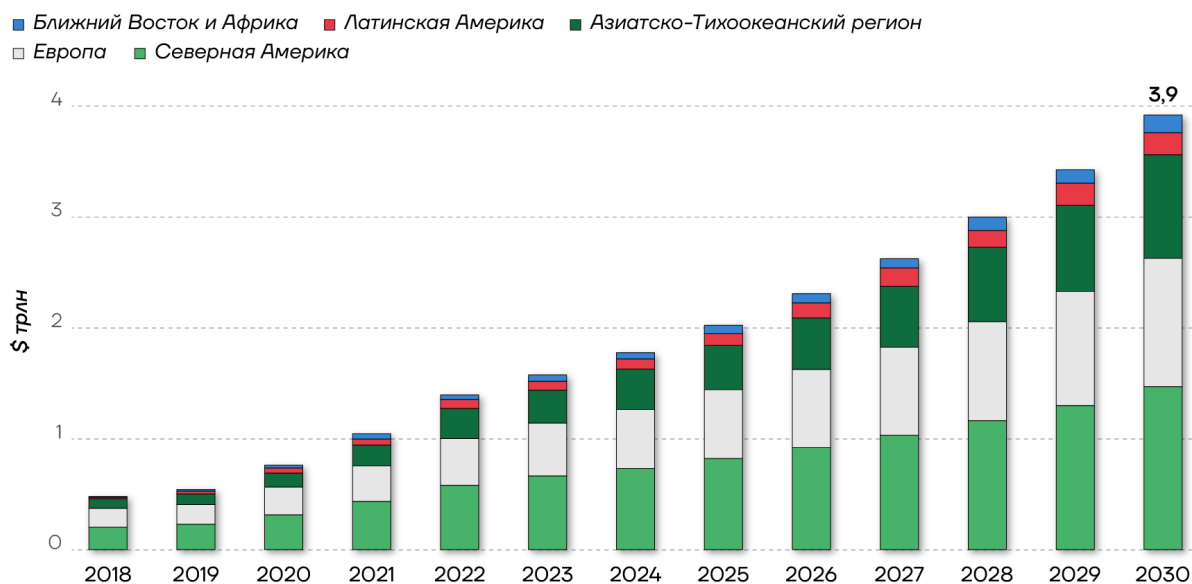
Биотехнологии также могут применяться в других секторах для снижения затрат за счет автоматизации процессов и систем. В наступающей эре синтетической биологии изменениям подвергнутся все отрасли — как традиционные, так и новые.

ОТРАСЛИ, ЗАТРОНУТЫЕ РАЗВИТИЕМ БИОТЕХНОЛОГИЙ

ТРАДИЦИОННЫЕ ОТРАСЛИ	НОВЫЕ ОТРАСЛИ	ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС
Агропромышленный комплекс	Биоинформатика	Легкая и прочная биоброня
Лесная индустрия	ИИ-биодизайн	Биотопливо для армии
Рыболовство и рыбоводство	Биоматериаловедение (сверхпрочные белки, самовосстанавливающиеся покрытия)	Биосенсоры
Энергетика	Биоинженерия (ткани, органы)	Нейроинтерфейсы для управления
Химическая промышленность		Системы защиты от биооружия
Фармакология		

Поскольку биотехнологии оказывают влияние на широкий спектр отраслей, они имеют ключевое значение для обеспечения научного и экономического лидерства государств. В будущем страны разделятся на драйверы биоэкономики и рынки сбыта, а экономическими гигантами будут компании, владеющие новыми биотехнологиями.

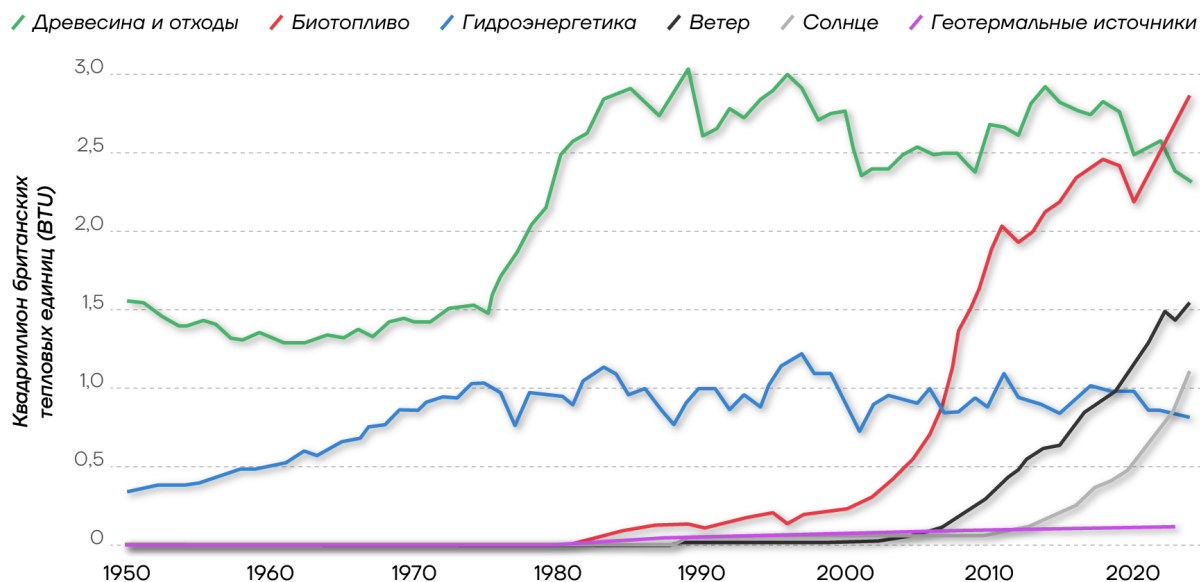
ОБЪЕМ РЫНКА БИОТЕХНОЛОГИЙ ПО РЕГИОНАМ



Источник: Grand View Research

Согласно прогнозам, в 2030 году объем мировой биоэкономики достигнет около \$4 трлн. США, Европейский союз и Китай вкладывают в этот сектор десятки миллиардов долларов. Ожидается, что только в Европе к 2030 году объем биоинвестирования достигнет свыше 100 млрд евро.

ИСТОЧНИКИ ПРОИЗВОДСТВА ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ В США



Источник: Управление энергетической информации (EIA) США

Выпуск биопластика уже сегодня оценивается в \$10 млрд в год, и рост составляет 20% ежегодно, а биотоплива производится на \$150 млрд в год. Вчерашние пилотные проекты обретают промышленные масштабы,

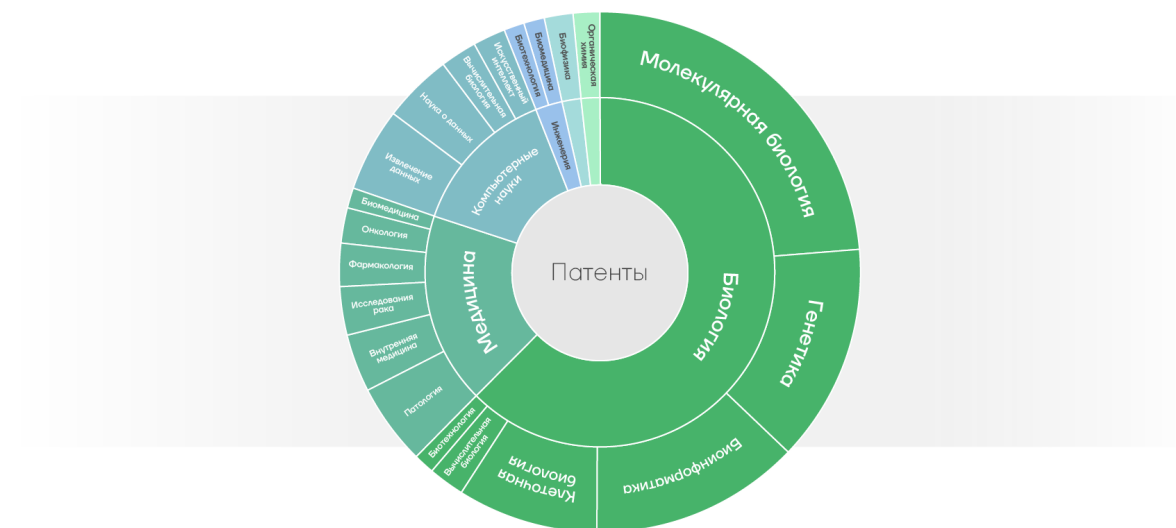
как, например, производство биоэтанола в США — 60 млн тонн в год. В 2024 году выпуск биотоплива в этой стране достиг рекордно высокого уровня.

Ключевые технологии

В основе перехода к новому укладу лежат передовые технологии, в первую очередь **искусственный интеллект**. Он используется для расшифровки и предсказания структуры биомолекул, особенно белков, дизайна ферментов, оптимизации биопроцессов, анализа спутниковых данных для мониторинга лесов, полей и шельфа — главных источников биомассы. С помощью ИИ создаются биоресурсные коллекции, геномные банки разных экосистем: наземных, морских, антропогенных, природных, экстремальных. Платформы для разработки лекарств с использованием ИИ, которые часто обучаются на открытых биологических данных, существующих молекулярных структурах и связанных с ними белках, могут генерировать новые молекулярные структуры и облегчать геномное таргетирование.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ В БИОТЕХНОЛОГИЯХ

Кластеризация технологий на основе пересечения патентов в области ИИ и биотехнологий



Источник: Всемирный экономический форум (ВЭФ)

Синтетическая биология — второй главный столп биоэкономики. Она позволяет конструировать и программировать организмы как минифабрики для производства нужных веществ: топлива, пластика, лекарств, строительных материалов, военной техники и оборудования. Центральный элемент синтетической биологии — генное редактирование (CRISPR-Cas и аналогичные

платформы). Оно делает возможным сверхбыстрое создание устойчивых сельскохозяйственных культур, продуктивных микроорганизмов, а также «ремонт» человека на генетическом уровне, технологии контроля и «лечения» экосистем. Так, с помощью технологии генного драйва ученые научились менять вероятность, с которой потомство может унаследовать определенный ген, что открывает возможность изменять целые виды.

Развиваются также все остальные **«омиксные» технологии**, базирующиеся на достижениях геномики, транскриптоники, протеомики и метаболомики — наук, изучающих, как устроен геном и как реализуется закодированная в нем информация. Эти технологии применяются для глубокого анализа биосистем.

Цифровые двойники и большие данные имеют важное значение для моделирования технологических процессов, оптимизации цепочек поставок биомассы, мониторинга антропогенных и природных экосистем.

НОВЫЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ



* Организмы-шасси (chassis organisms) – фундаментальные «строительные блоки» синтетической биологии. Модифицируя генетическую структуру этих организмов (часто бактерий или дрожжей), ученые могут использовать их естественные биологические процессы для выполнения широкого спектра функций, обычно не встречающихся в природе, таких как производство биотоплива, синтез фармацевтических препаратов или разложение загрязняющих веществ.

Источник: Всемирный экономический форум (ВЭФ)

К самым быстрорастущим технологическим трендам в биоэкономике относятся передовые **технологии ферментации и биосепарации** в промышленном производстве и природоохранных проектах.

ТРЕНДЫ, УСКОРЯЮЩИЕ РАЗВИТИЕ БИОЭКОНОМИКИ



Источник: Всемирный экономический форум (ВЭФ)

Лидеры рынка

Агрессивное лидерство по всем сегментам биоэкономики — от военных технологий, нейробиотехнологии, агробиотеха до биоматериалов и биотоплива — удерживают **США**. Управление научно-технической политики (OSTP) представило всеобъемлющее видение американской биоэкономики еще в 2012 году. Масштабное финансирование исследований и разработок поддерживало передовые позиции страны в области биотехнологических исследований и инноваций. Особое внимание уделяется биоресурсным базам данных и биоинформатике. Главные драйверы роста — DARPA, биотехнологические компании Moderna и Ginkgo Bioworks, агрохимическая компания Corteva и биотопливная компания POET, специализирующаяся на производстве биоэтанола.

Среди примеров биотехнологических проектов, которые реализуются в США, — производство компанией Modern Meadow кожаных изделий из генно-инженерных дрожжей без использования животных. LanzaTech (США — Новая Зеландия — Китай) с помощью бактерий делает бензин из отходов производства и выбросов газов. Pivot Bio в качестве альтернативы синтетическим удобрениям разработала микробы, способные преобразовывать атмосферный азот в аммиак непосредственно в корнях растений, что помогает уменьшить выбросы углекислого газа и загрязнение водных экосистем. А компания Biomason разводит бактерии, которые объединяют природные

материалы в связующее вещество, и так производит биоцемент как более экологичную альтернативу традиционному цементу.

Хотя на Северную Америку приходится наибольшая доля рынка биотехнологий, ожидается, что Азиатско-Тихоокеанский регион будет лидировать по темпам роста в период до 2030 года. **КНР** активно наращивает свой сектор биотехнологий и биоэкономики, рассматривая это как государственный приоритет. В мае 2022 года Пекин обнародовал план стимулирования биоэкономики в период 14-й пятилетки (2021–2025 годы). Он направлен на развитие и интеграцию биологических ресурсов и биотехнологий в другие секторы, такие как здравоохранение и энергетика. К 2035 году Китай намерен выйти на передовые позиции в мире с точки зрения всестороннего развития своей биоэкономики.

14-Й ПЯТИЛЕТНИЙ ПЛАН РАЗВИТИЯ БИОЭКОНОМИКИ В КНР



Источник: Zhang, X., Zhao, C., Shao, M. W., Chen, Y. L., Liu, P., & Chen, G. Q. (2022). The roadmap of bioeconomy in China. *Engineering biology*, 6(4), 71–81.

Подход Пекина основан на государственном управлении с гибким и адаптивным регулированием и стимулированием сектора посредством финансирования и предоставления компаниям налоговых льгот. Многие биоэкономические проекты в стране поражают масштабностью и астрономическими инвестициями. В основном это биофабрики, в том числе по производству белка, большая коллекция ГМО-культур, в частности риса и хлопка, огромные генетические базы данных. Кроме того, Национальный университет оборонных технологий Китая, Академия военных наук Народно-освободительной армии КНР и Научно-техническая комиссия Центрального военного совета вложили значительные средства в интерфейсы «мозг-компьютер», передовые

биометрические системы, повышение производительности человека и генную инженерию.

В числе лидеров отрасли также находится **Европа**, принявшая биоэкономическую стратегию в 2012 году. Основное внимание в регионе уделяется «зеленой» экономике и циркулярной биоэкономике, а самые активные инвестиции делаются в производство биопластика и переработку отходов. Основные игроки на европейском рынке — компании DSM (Нидерланды), BASF (Германия) и Veolia (Франция). Хотя жесткое регулирование и множество бюрократических барьеров сдерживают инновации, европейский рынок биотеха растет значительными темпами. К примеру, завод UPM в Финляндии производит дизель из талового масла — отходов лесопилок, а немецкая AMSilk разработала биотехнологическую альтернативу шелку на основе рекомбинантных белков паучьего шелка.

В **Бразилии** активно развивается производство биотоплива из сахарного тростника, в котором страна является мировым лидером, выпуская 30 млрд литров в год.

СТРАНЫ-ЛИДЕРЫ В ОБЛАСТИ БИОТЕХНОЛОГИЙ, ГЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ВАКЦИН

Технология	Риск технологической монополии	Топ-5 стран									
Синтетическая биология	Высокий	 57,7%	 13,1%	 2,7%	 2,6%	 2,6%					
Биопроизводство	Средний	 28,5%	 10,3%	 8,5%	 3,3%	 3,0%					
Новые антибиотики и противовирусные препараты	Средний	 29,7%	 11,6%	 11,3%	 5,5%	 4,2%					
Генная инженерия	Низкий	 37,0%	 29,0%	 4,7%	 3,8%	 2,3%					
Секвенирование и анализ генома	Низкий	 35,6%	 22,2%	 3,9%	 3,9%	 2,6%					
Ядерная медицина и радиотерапия	Низкий	 27,1%	 21,1%	 6,3%	 5,5%	 4,7%					
Вакцины и медицинские контрамеры	Низкий	 26,4%	 14,0%	 6,0%	 5,9%	 5,2%					

Источник: «Трекер критических технологий» Австралийского института стратегической политики (Australian Strategic Policy Institute, ASPI), август 2024 года. Страны проранжированы по доле (%) высокоэффективных результатов исследований за период с 2019 по 2023 год. Риск технологической монополии рассчитывается на основании двух факторов: 1) доля страны в топ-10 научных учреждений мира, 2) преимущество страны над ее ближайшим конкурентом (соотношение в топ-10% наиболее цитируемых научных публикаций).

Помимо технологий, развитие биоэкономики требует значительных биоресурсов и финансов. Стоимость только одного современного биоперерабатывающего завода составляет \$0,5–1 млрд. С финансовой и технологической точки зрения наибольшим потенциалом в этой сфере обладают **США, Китай, ЕС, Япония и Южная Корея**. Значимым игроком на биотехнологическом рынке в перспективе

также будет **Индия** с ее огромным рынком, аграрным потенциалом и растущими компетенциями в IT, необходимыми для биоинформатики.

С точки зрения биологических ресурсов крупнейшим потенциалом для развития биоэкономики обладают такие страны, как **Бразилия, Индонезия, Россия и Канада**, за счет их обширных лесов, сельхозземель и морей. Однако сдерживающим фактором для них служит недостаток инвестиций и скорости принятия решений.

Биоэкономика в России

В то время как Китай строит по пять «биофабрик будущего» в месяц, а американская DARPA тестирует «биоброню», в России только завершается подготовка национального проекта «Технологическое обеспечение биоэкономики». Ожидается, что он будет утвержден до конца 2025 года. Нацпроект будет включать три базовых федеральных проекта: «Организация производства и стимулирование сбыта продуктов биоэкономики», «Научно-технологическая поддержка развития биоэкономики» и «Аналитическое, методическое и кадровое обеспечение биоэкономики». Акцент в нацпроекте сделан на четыре технологические платформы, среди которых микроорганизмы, микробный биосинтез, продукты переработки растительного и животного сырья, а также средства производства.

Развитие биоэкономики было обозначено в качестве одной из задач достижения национальной цели «Технологическое лидерство» до 2030 года и на перспективу до 2036 года в прошлогоднем Указе Президента РФ. Широкое разнообразие биоресурсов в России — сельскохозяйственного сырья, лесных ресурсов и аквакультуры — обеспечивает важное конкурентное преимущество. Так, например, наш арктический шельф по продуктивности превосходит тропические водные системы. После таяния вечной мерзлоты биологических ресурсов у России станет еще больше.

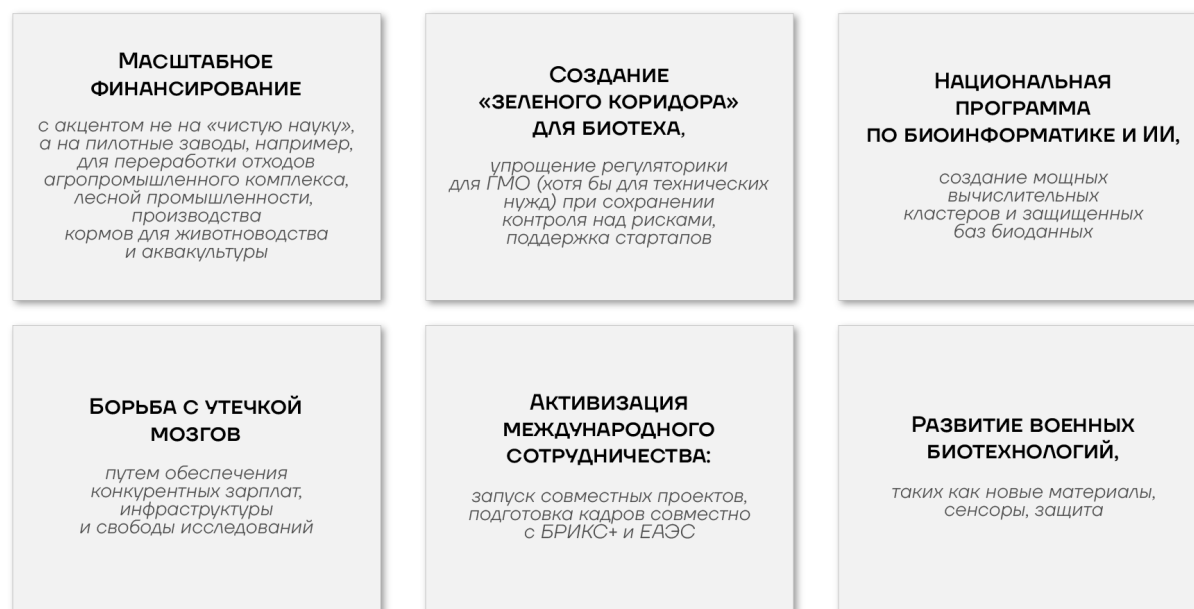
Несмотря на множество инициатив по развитию биоэкономики, темпы их внедрения остаются низкими. В РФ есть работающие биотехнологические проекты. К примеру, «Биоэнергия» (Кировская область) производит биогаз из сельскохозяйственных отходов, а биофармацевтическая компания «Генериум» разрабатывает генно-инженерные лекарственные препараты и биомедицинские клеточные продукты, есть также ряд других узкоспециализированных проектов.

Однако в целом масштаб реализации биотех-проектов невелик, в стране не хватает крупных биоперерабатывающих производств.

Объем российской биоэкономики составляет около \$2 млрд, ее доля в ВВП в номинальном выражении — менее 1%. Между тем, в ЕС на биоэкономику приходится уже 5%, а в Бразилии — 8% ВВП. Объем мирового рынка одних только промышленных ферментов — наиболее динамично растущий сегмент биоэкономики — больше, чем весь российский биотех-рынок.

Профильный нацпроект признает важность биоэкономики. Предпринимаются необходимые попытки систематизации темы на уровне терминологии, реестров, центров накопления и обработки данных и т.д. В то же время недостаточное внимание уделяется таким барьерам на пути российской биоэкономики, как утечка мозгов, нехватка индустриальных инженеров-биотехнологов, потребность в актуализации регуляторики. Кроме того, пока не уделяется внимание военному аспекту биоэкономики, несмотря на ее значимость для обеспечения национальной безопасности. Таким образом, нацпроект по биоэкономике — необходимый шаг, но потребуются радикальное усиление развития сектора.

НЕОБХОДИМЫЕ МЕРЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ БИОЭКОНОМИКИ



Перспективы развития биоэкономики

Согласно консервативному прогнозу, мировая биоэкономика будет расти на 10–15% ежегодно до 2030 года, после чего рост еще ускорится. К 2035–2040 году на долю биоэкономики в ЕС, США, Китае и Бразилии будет приходиться не менее 10–15% ВВП.

В России доля биоэкономики при чрезвычайных усилиях по ее развитию достигнет 3–5% ВВП в 2035 году. Без таких усилий эта доля составит всего 1–2% ВВП, что будет грозить потерей рынков и усилением технологической зависимости. Российская биоэкономика нуждается минимально в 300–400 млрд руб. инвестиций ежегодно — не только на исследования, но и на «пилоты» и внедрение, тогда как нынешний объем вложений на порядки меньше. В целом же на биотопливо, логистические цепочки по производству, транспортировке и переработке биомассы миру нужны триллионы долларов. Пик инвестиций ожидается в 2030–2040 годах.

ПЕРЕЛОМНЫЕ ТОЧКИ В РАЗВИТИИ БИОЭКОНОМИКИ



Новые биотехнологии делают производство энергетически экономнее, безопаснее и быстрее. Использование биоресурсов и продуктов синтетической биологии позволит выстраивать локальное производство, обеспечивая рабочие места внутри страны, продовольственную и промышленную независимость. Это будет служить защитой от перебоев в поставках из-за геополитических и иных факторов, включая тарифы, перекрытие транспортных маршрутов и т. д.

Но хотя биоэкономика открывает огромные возможности для экономического роста и получения военных преимуществ, она также сопряжена со значительными рисками. К примеру, растущая способность собирать и анализировать геномные, биопсихосоциальные и экологические данные расширяет спектр жизнеспособных медицинских подходов. Однако это также облегчает разработку селективных патогенов на основе индивидуальной или групповой восприимчивости и чувствительности.

ОСНОВНЫЕ РИСКИ БИОЭКОНОМИКИ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ	<i>Непредсказуемость сложных биосистем, аварии на биопроизводствах, случайное или намеренное создание опасных патогенов, утечки из лабораторий, создание неуправляемых и неконтролируемых психоактивных веществ</i>
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ	<i>В погоне за новыми источниками биомассы есть соблазн чрезмерной эксплуатации биоресурсов – вырубки лесов «под биотопливо», перегрузки шельфовых зон аквакультурой, применения инвазивных ГМО-организмов</i>
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ	<i>Высокие начальные инвестиции, риски перепроизводства, например, биопластиков, зависимость от чужой интеллектуальной собственности, нечестной конкуренции со стороны блюстителей мировых правил и т. д.</i>
СОЦИАЛЬНЫЕ И ЭТИЧЕСКИЕ	<i>Критический разрыв в доступе к технологиям, особенно в здравоохранении, ожесточенные споры о ГМО и редактировании генома человека</i>
ГЕОПОЛИТИЧЕСКИЕ	<i>Биоколониализм, захват биологических ресурсов слабых стран, уязвимость сложных глобальных цепочек поставок ключевых биоматериалов</i>
ВОЕННЫЕ	<i>Новые виды оружия: селективные биопатогены, психоактивные биологические агенты; оружие, разрушающее экосистемы или инфраструктуру, например, ГМО-микроорганизмы или насекомые-векторы, запрограммированные на избирательное уничтожение посевов определенной культуры, порчу топливных запасов (биоразложение нефтепродуктов), изменение состава почвы или воды, делающее территорию непригодной для жизни; конструирование «идеальных солдат»</i>

Перспективы государств с развитой биоэкономикой включают:

- решение многих экологических проблем, снижение углеродного следа промышленности, сельского хозяйства и населения, замкнутые производственные циклы;
- новые рынки масштабом в триллионы, множество новых рабочих мест, технологический и ресурсный суверенитет, независимость от чужих ископаемых и состояния транспортных путей;
- «биогегемонию» и усиление геополитического влияния с помощью новых инструментов — «зеленых» стандартов, технологий, материалов, еды и лекарств;
- новые возможности в военном деле.

С другой стороны, страны с неразвитой биоэкономикой столкнутся с рисками, в числе которых:

- утрата рынков торговли сельскохозяйственной и лесной продукцией, а также энергией;
- усиление сырьевой зависимости, экспорт биомассы вместо продуктов с добавленной стоимостью;
- технологическая колонизация;
- катастрофическая уязвимость к биологическим угрозам: снижение технологических барьеров для создания биологического оружия высокой эффективности резко усиливает угрозу биотерроризма, в первую очередь для тех, кто готов к этому в наименьшей степени.

Выводы

- Биоэкономика — ключевой компонент экономики будущего. Она кардинально изменит роли стран как нетто-экспортеров и нетто-импортеров.
- Биотехнологии меняют не только экономический и экологический ландшафт, но и геополитический.
- Нарращивание внутреннего биопроизводства сделает страны менее уязвимыми к рискам торговых войн, позволит эффективнее реагировать на пандемии, биотерроризм и другие биологические угрозы.
- Россия, обладая огромными биологическими ресурсами, без активного развития биоэкономики рискует стать лишь рынком сбыта и источником сырья для других стран.
- Цели развития российского биотеха к 2036 году недостаточно амбициозны при нынешних темпах биоэкономической гонки.
- Отставание в этой гонке означает стратегическую уязвимость во всех сферах, в том числе военной, технологической и биологической.
- России необходимо масштабное финансирование и снижение барьеров для биотеха, а также сотрудничество со странами БРИКС+ и ЕАЭС.

- Мир сталкивается с крайне сложными этическими вопросами относительно управления психикой, генетических мин и других биотехнологий.
- Без активного участия в разработке мер их контроля есть риск стать жертвами правил, написанных другими.