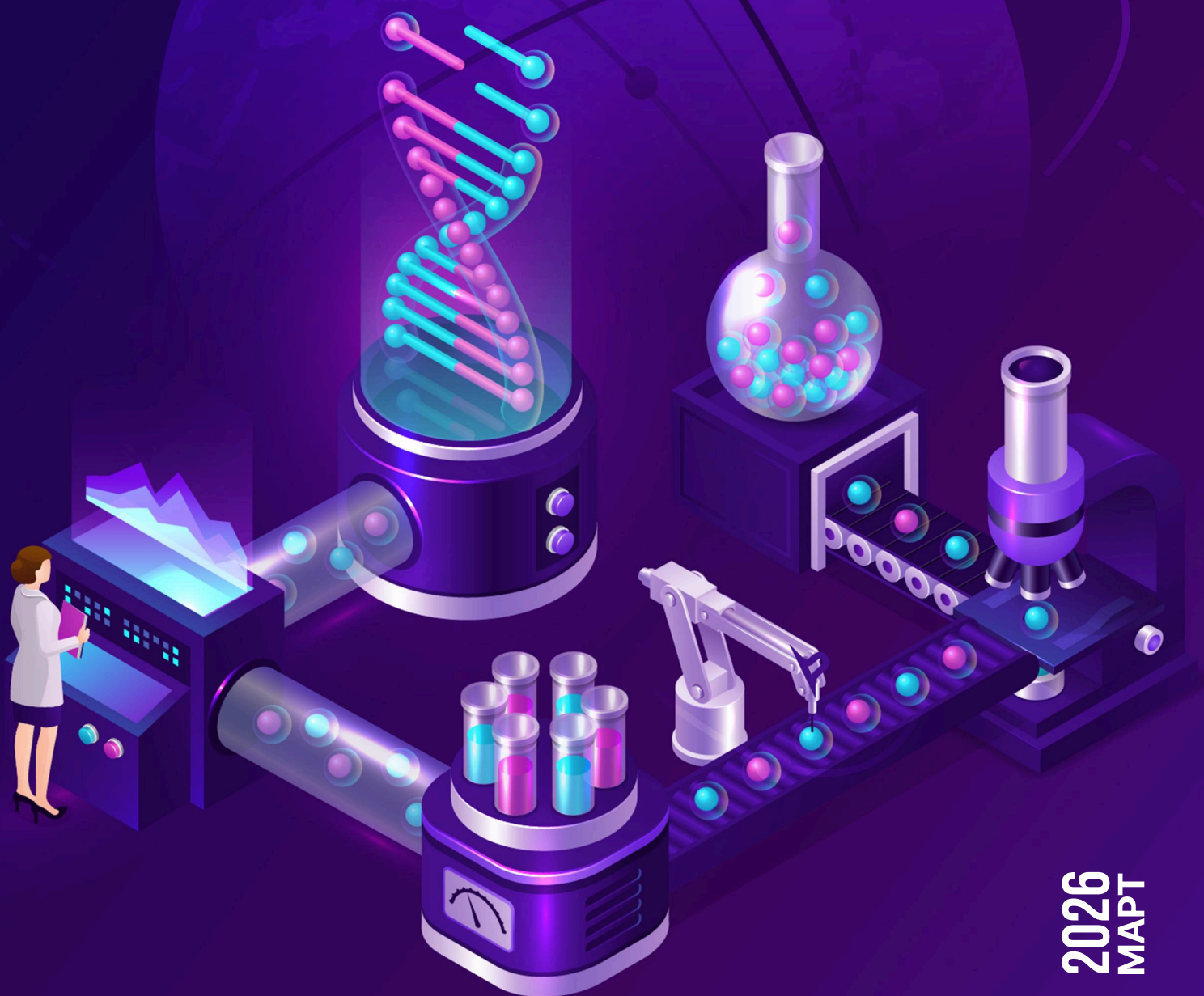


РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ БИОТЕХНОЛОГИЙ

ЗНАКОВЫЕ АСПЕКТЫ МИРОВОЙ
ПОВЕСТКИ





Данный документ подготовлен на основе материалов и наблюдений, полученных в ходе участия и анализа ряда международных профильных мероприятий последних лет, посвященных развитию промышленной биотехнологии и биоэкономики, таких как World Bio Markets 2025 (Нидерланды), Bio Innovations Midwest 2025 (США), International Forum on Industrial Biotechnology and Bioeconomy 2025 (Италия), International Bioeconomy Conference 2025 (Германия) и GlobalBioeconomySummit 2024 (Кения). Данные мероприятия представляют собой ключевые международные дискуссионные и деловые площадки по обсуждению практических вопросов коммерциализации, масштабирования и внедрения биотехнологических решений. Их особенностью также является и то, что участники представляют всю цепочку «создания стоимости» – от разработчиков и производителей продукции до мировых брендов, дистрибьютеров, инвесторов, регуляторов, аналитических агентств и отраслевых ассоциаций из стран Европы, США, Канады, Бразилии, Китая и других регионов. Так, среди ключевых участников и спикеров можно выделить представителей следующих компаний: Archer Daniels Midland Company (США), Alfa Laval Corporate AB (Швеция), Ajinomoto Co., Inc. (Япония), BASF SE (Германия), Dow Inc. (США), DSM-Firmenich AG (Швейцария), GEA Group AG (Германия), IFF Inc. (США), Merck KGaA (Германия), Novonosis A/S (Дания), TotalEnergies Corbion B.V. (Нидерланды), Lesaffre International SAS (Франция), Evonik Industries AG (Германия) и др.

Таким образом, представленные в текущем материале выводы и наблюдения основаны на актуальной международной повестке и отражают позиции отраслевых лидеров и практиков «из первых рук». Кроме того, они представляются значимыми в контексте реализации Национальных проектов технологического лидерства в сферах биоэкономики и продовольственной безопасности, поскольку позволяют соотнести российские приоритеты с международным опытом. Данный материал при наличии такой заинтересованности также может рассматриваться как отправная точка для дальнейшего углубленного изучения отдельных технологических направлений, рыночных трендов и подходов к государственной поддержке и регулированию.



Преамбула

Стоит отметить, что современное понимание термина «биотехнология» может различаться в зависимости от региона и участников обсуждения. На Западе акцент смещается с традиционного представления о биотехнологиях как о «применении ферментов и микроорганизмов для производства продуктов из биосырья» на более конкретные нишевые направления, учитывающие последние достижения в области наук о жизни, которые не связаны со здоровьем человека. Поэтому в этом контексте более уместно говорить о «современных промышленных биотехнологиях» (modern industrial biotechnology, MIB) как основном фокусе внимания отрасли.

Современная промышленная биотехнология – это применение природных, имитируемых или сконструированных биологических организмов, систем, процессов или их частей с целью получения потребительских товаров и услуг экономичным, экологичным, устойчивым, энерго- и ресурсосберегающим образом на благо человечества



Действительно, новые достижения в области генетического редактирования, метаболической инженерии, искусственного интеллекта, микрофлюидики, *in silico* биологии и т.д. открывают возможности для получения более дешевых, безопасных и функциональных пищевых ингредиентов, пластмасс, моющих средств, текстиля, специальных химикатов, биотоплив и биопрепаратов для сельского хозяйства. Причем данные технологические достижения являются кросс-секторальными, охватывающими в первую очередь более емкие рынки биофармацевтики, генетики и сельского хозяйства, а обрабатывающая промышленность выступает как еще одно ответвление возможного применения. В качестве основных причин, почему правительства развитых стран обозначают данное направление в качестве одного из приоритетных – это повышение добавленной стоимости, решение проблемы нехватки ресурсов (в первую очередь ископаемых, а именно нефти и газа), обеспечение энергетической безопасности, создание высококвалифицированных рабочих мест, а также решение проблем изменения климата или сокращения отходов. Именно эти причины находят большой отклик у инвесторов, политиков и потребителей.

Возможно, традиционные биотехнологические продукты, такие как аминокислоты, витамины и крахмалопродукты, не находятся в фокусе особого внимания участников отрасли, поскольку не сильно коррелируют с данными политическими мотивами. Кроме того, эти продукты являются зрелыми и устоявшимися рынками, где биотехнологии и отдельные компании уже добились коммерческого успеха несколько десятилетий назад. Поэтому в настоящее время инновации и инвестиции, учитывая новые технологические возможности, сосредоточены главным образом на замене химических веществ и материалов на основе ископаемого топлива

и биологизации различных отраслей промышленности. Это открывает огромные перспективы для компаний, которые первыми смогут создать конкурентоспособный с химией технологический процесс. Ведь только рынок пластиков в мире составляет 400 миллионов тонн в год, а уровень проникновения биоматериалов пока что остается порядка 1%. Это существенно превышает потенциальный объем рынков аминокислот, витаминов и других традиционных биопродуктов и опосредует активность как со стороны стартапов, так и крупных компаний из традиционных отраслей.

В связи с этим, основной материал, представленный ниже, касается непосредственно направления **современных промышленных биотехнологий**, поэтому экстраполирование его выводов на всю отрасль биотехнологий и биоэкономики может нести определенные ограничения и искажения.

Краткие выводы

- ▶ Ключевым и наиболее обсуждаемым технологическим и организационным ограничением для развития промышленных биотехнологий по-прежнему остается этап масштабирования биопроцессов. Отдельно подчеркивается, что отсутствие ранней проработки вопросов масштабируемости технологических решений со стороны стартапов, включая стадии upstream и downstream, а также незначительное внимание к технико-экономическим параметрам еще на этапах лабораторных и пилотных установок существенно повышают риски неудач при коммерциализации. В этих условиях отрасль последовательно движется в сторону более тесной кооперации с инжинирингом, производителями оборудования и потенциальными потребителями уже на ранних этапах разработки.
- ▶ Одновременно наблюдается трансформация организационных моделей разработки и внедрения технологий, когда вертикально интегрированные цепочки внутри компаний все чаще уступают место кооперационным форматам взаимодействия. Формируются альянсы, консорциумы и партнерства, в рамках которых функции и, соответственно, риски распределяются между всеми участниками процесса: специализированными стартапами, контрактными производственными организациями (CDMO/CMO), крупными индустриальными игроками и брендами конечной продукции. Такая модель позволяет консолидировать имеющиеся компетенции, ускорять вывод продуктов на рынок и снижать инвестиционные и операционные риски, особенно на стадиях масштабирования и промышленного освоения технологий.
- ▶ Важным элементом формирующейся экосистемы становятся контрактные производственные площадки, которые фактически превращаются в критическое ядро отрасли. Они обеспечивают переход от лабораторных и пилотных разработок к промышленным объемам без необходимости значительных капитальных вложений со стороны стартапов и скейлапов в собственные мощности, а также предоставляют экспертизу в области технологического оформления, нормативного соответствия и управления качеством. Отчасти это обуславливает усиление спроса на универсальные платформенные решения – модульные производственные линии, включая «клетки-биофабрики» с оптимизированными геномами, и цифровые системы управления в комбинации с ИИ, позволяющие адаптировать процессы под различные продукты без полной реконфигурации производств.

Стимулы и вектора развития современных биотехнологий в разных регионах мира

Масштабы и закладываемое целеполагание современных промышленных биотехнологий варьируются в зависимости от региональных, ресурсных и системных факторов. Данное направление является частью более широкой повестки, связанной с поддержкой биоэкономики, которая имеет также довольно различающиеся

аспекты. По сути, акцент в национальных стратегических документах в области биоэкономики определяется уникальным сочетанием параметров, включая природные условия, доступность ресурсной базы, промышленный и технологический потенциал, политические условия и т.д., что «адаптирует» это направление к региональным особенностям.

Развитие биотехнологий в Европе во многом определяется требованиями экологической устойчивости и законодательством, которые создают экономические стимулы для внедрения новых решений в этой области. Такие инициативы, как European Green Deal и Circular Bio-Based Europe, обеспечивают нормативную поддержку для развития биопроизводства, это дополнительно подчеркивается в инвестиционной стратегии многих венчурных фондов, включая государственные. Эта нормативно-правовая база создала достаточно своеобразную экосистему, в которой экологические проблемы стали главным двигателем внедрения биотехнологий. Основными направлениями решений являются декарбонизация (снижение углеродного следа), снижение использования ископаемых ресурсов (синтетических материалов) и детоксикация (снижение использования токсичных веществ в производстве).

В отличие экологической повестки в Европе биотехнологический сектор США демонстрирует несколько другие движущие силы развития – а именно безопасность цепочки поставок. Такой стратегический ориентир отражает скорее ответ на геополитические вызовы и стремление снизить зависимость от международных поставок критически важных материалов и ингредиентов.

В связи с этим на основе анализа программных документов развития биоэкономики в разных странах и регионах можно выделить порядка **трех доминирующих парадигм развития и гос-поддержки**: экологоцентричная биоэкономика,

ресурсоцентричная биоэкономика, высокотехнологичная биоэкономика. При этом данные типы не взаимоисключают, а скорее совместно дополняют друг друга.

Параметр

ТИП 1
Экологоцентричная
биоэкономика

ТИП 2
Ресурсоцентричная
биоэкономика

ТИП 3
Высокотехнологичная
биоэкономика

Основной
акцент

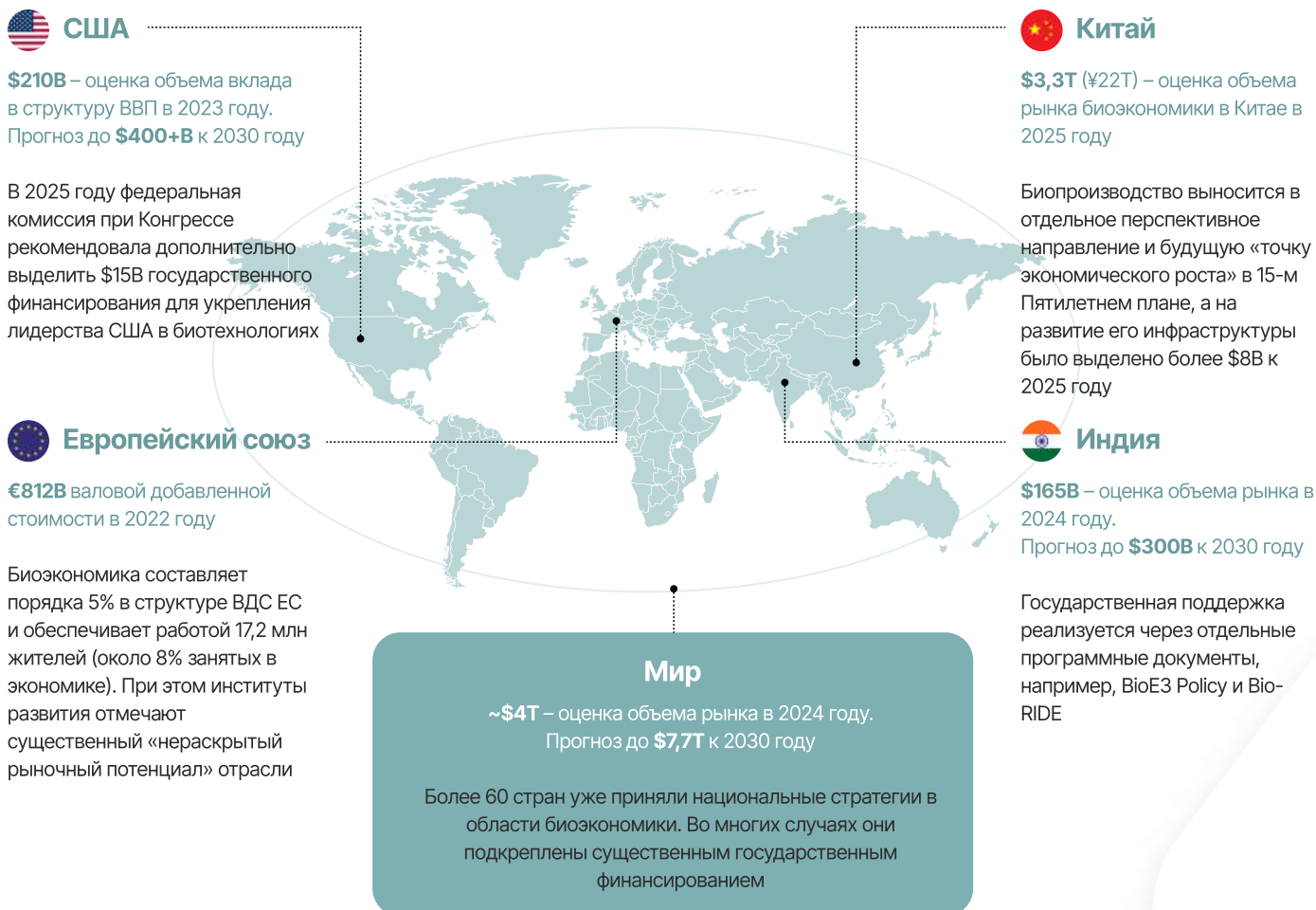
Большое внимание экологическим процессам, которые оптимизируют использование энергии и питательных веществ, способствуют сохранению биоразнообразия и предотвращают деградацию почвы

Ориентир на максимальное внедрение принципов использования биомассы и биологического сырья (например, сельскохозяйственных культур и древесного сырья) в качестве источников энергии и/или новых материалов, таких как биопластик или биотопливо

Основная деятельность сосредоточена вокруг применения новых технологий, таких как редактирование генома, синтетическая биология, управляемая ферментация, биоинформатика и ИИ

Параметр	ТИП 1 Экологическая биоэкономика	ТИП 2 Ресурсоцентричная биоэкономика	ТИП 3 Высокотехнологическая биоэкономика
Продуктовый фокус	Широкий перечень продуктов (в основном с незначительной добавленной стоимостью) на биологической основе	Продукты-альтернативы химически синтезируемым соединениям и материалам, например, биохимикаты, биоматериалы, биотопливо и т.д.	Продукты, полученные на основе современных достижений в науках о жизни, например, платформенные технологические решения на базе штаммов микроорганизмов или улучшенных ГМ-культур, функциональные биополимеры, наноматериалы на биологической основе и т.д.
Целеполагание	Обеспечение устойчивого экономического роста при одновременном снижении воздействия на окружающую среду и зависимости от ископаемых ресурсов	Решение экологических и экономических проблем путем разработки и внедрения устойчивых альтернатив продуктам, получаемым из ископаемого сырья, а также повышения эффективности и устойчивости производственных процессов	Производство специализированных биопродуктов с усовершенствованными функциональными возможностями и более высокой (или сопоставимой) рыночной стоимостью по сравнению с традиционными химическими и биопродуктами
Объемы и характер рынка	Значительные и определенные объемы рынков	Пока незначительные, но растущие объемы рынков по мере того, как технологии и рыночный спрос стимулируют увеличение производства	Пока нишевые рынки, производство сфокусировано на качестве и функциональности продукта, что часто приводит к получению более высокой по себестоимости, но более инновационной продукции

Оценка уровня развития биоэкономики в разных регионах мира



2

Решение проблемных вопросов как ключевой фактор обеспечения успешной трансформации отрасли

2.1 Проблема масштабирования биопроцессов

Тема масштабирования в промышленной биотехнологии занимает одно из главных мест в обсуждении. Сегодня оно обозначается в качестве ключевого фактора, определяющего экономическую жизнеспособность будущих биопроизводств. Один из ключевых выводов заключается в том, что все технологические проекты должны разрабатываться **с учетом возможности промышленного масштабирования с самого начала**. Отсутствие раннего технико-экономического обоснования и проверки производственного потенциала может привести к проблемам на более поздних этапах. Уже на лабораторной стадии необходимо учитывать и прорабатывать не только сам технологический процесс, но и список реагентов, поставщиков, конфигурацию биореакторов и другого необходимого оборудования.

Кроме того, исторически сложилось так, что отрасль уделяла чрезмерное внимание биологическим аспектам технологии, в то время как инженерные требования, необходимые для создания промышленных объектов из «стали и бетона», оставались в стороне. По данным компании DAB.bio (Нидерланды), за последние 10-15 лет более 95% всего венчурного финансирования в биотехнологии было направлено на синтетическую биологию и генетическую инженерию, в то время как производственные инженерные технологии получали лишь незначительную часть средств. Хотя, по мнению

ряда компаний, биологический аспект по сравнению с инженерной частью скорее вторичен и менее важен. Этот дисбаланс создает фундаментальное несоответствие между биологическими инновациями и инженерными возможностями, необходимыми для достижения коммерческого успеха, а также рождает **перегретые ожидания от синтетической биологии** как таковой. Поэтому, по словам компании LanzaTech (США), для успешного масштабирования требуется комплексное «end-to-end» мышление и сбалансированный технологический подход, охватывающий условный треугольник: «материалы и методы», «процессы и аппараты», а также «рыночный спрос». Когда этот треугольник становится неуравновешенным, коммерческий провал скорее неизбежен. Проблема усугубляется тем, что в отличие, например, от нефтегазовой отрасли, где все компетенции – от инженерии до эксплуатации – интегрированы, в биотехнологиях эти **компетенции крайне фрагментированы**. Чтобы масштабировать биотехнологический проект, необходимо взаимодействие трех-пяти различных структур, часто с несовместимой финансовой логикой. На рынке присутствует лишь небольшое количество вертикально интегрированных компаний, способных довести самостоятельно разработку от идеи до рынка, таких как Cargill, DSM, Evonik и BASF.

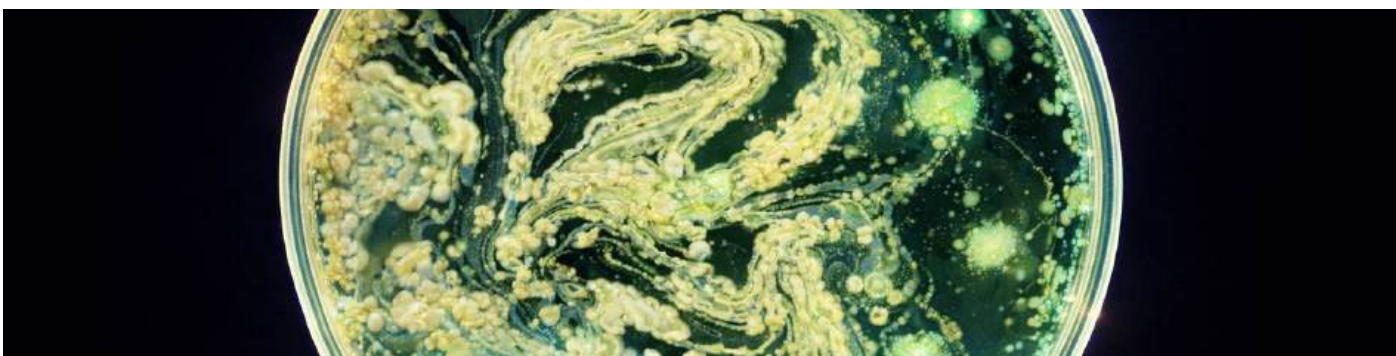


В 2023 году LanzaTech вышла на биржу Nasdaq как SPAC (специально созданная для поглощения компания, которая реализует механизмы выхода на биржу, минуя процедуру IPO), где ее оценили приблизительно в \$2,2 млрд. Однако на начало 2026 года рыночная капитализация компании упала более чем на 95%, что говорит скорее об угасании доверия со стороны инвесторов. Прежде всего это обуславливается ухудшением финансовых показателей компании за последние годы: выручка с завершением ряда крупных контрактов снижается, а сроки по собственным проектам постоянно смещаются. Например, компания уже более 10 лет занимается разработкой и пилотированием технологии получения микробного белка из CO₂ для подтверждения ее коммерческого потенциала. Поэтому последние события заставляют компанию смещать фокус на менее инновационные, но более надежные и реалистичные для коммерциализации технологии.

2.2 «Тотальное» партнерство и кооперация

Тесно с масштабированием связана проблема отсутствия «готовых» инфраструктурных решений. Компании подчеркивают, что подавляющее большинство игроков в секторе – это стартапы и скейлапы¹, чей ресурс и опыт ограничены масштабом развития проекта до пилотного уровня. В этой логике CDMO² и крупные индустриальные партнеры, такие как Evonik, DSM или BASF, играют роль «проводников», осуществляя трансфер процесса на промышленный уровень. Подобная модель – интегрированная цепочка создания стоимости в виде неких консорциумов и «стратегических альянсов» – становится скорее стандартной практикой для сектора биопроизводства на Западе вместо традиционных взаимоотношений между поставщиком и потребителем. Крупные стратегические компании-инвесторы переходят от прямых долевым инвестициям на ранних стадиях к **модели оплачиваемых «пилотных проектов» и соглашений о совместной разработке** (Joint Development Agreements), что меняет характер партнерств в

отрасли. Причем на этапе масштабирования важно не только производственное звено, но и взаимодействие с брендами конечных продуктов – именно тесная кооперация с последними в части будущих поставок помогает решить проблемы «курицы и яйца», когда спрос и предложение должны развиваться одновременно. Крупные бренды все чаще выступают в роли «технологических катализаторов», устанавливая особые требования к производительности и экологичности, которые стимулируют инновации во всех своих цепочках поставок. Поэтому, координируя действия множества заинтересованных сторон, консорциумы разработчиков, производителей и потребителей могут создать **достаточный рыночный импульс**, чтобы оправдать значительные инвестиции, необходимые для производства в промышленных масштабах. Причем крупные корпорации могут выступать одновременно в качестве стратегических инвесторов и заказчиков.



¹ В данном контексте понимаются молодые компании, которые уже подтвердили бизнес-модели и технологические гипотезы на пилотных объемах и находятся на этапе последующего масштабирования до демо- и полноценных промышленных площадок

² Contract Development and Manufacturing Organization – контрактная площадка, предоставляющая фармацевтическим и биотехнологическим компаниям комплексные услуги не только по производству партий продукции (Contract Manufacturing Organization или CMO), но еще и по разработке и оптимизации самой технологии

Примером такой модели «стратегического альянса» и совместной разработки можно считать трехстороннюю кооперацию между L'Oréal, Evonik и Abolis. В этой схеме Abolis (Франция) отвечает за разработку штаммов и отработку процессов до пилотной стадии, Evonik – за масштабирование и производство, а L'Oréal выступает в роли якорного заказчика (venture client), обеспечивая рыночную валидацию и сбыт. Такая модель, считается, позволяет распределить ключевые риски (технологические, инфраструктурные и рыночные одновременно), а также решить проблему разрыва между лабораторными разработками и налаживанием производства. Еще одним примером партнерства является кейс Alfa Laval (Швеция) и RWDC Industries (США), когда «проводником» выступает уже производитель оборудования. Компания предоставляет испытательные мощности, экспериментальное оборудование и техническую экспертизу, чтобы помочь партнерам, находящимся на стадии TRL 5-6, перейти от разработки к коммерческому производству.



Примером партнерства уже на этапе потребления выступает кейс TotalEnergies Corbion (Нидерланды), компания уделяет особое внимание сотрудничеству с производителями готовых смесей (компаундов). Вместо того чтобы просто реализовывать полимолочную кислоту (PLA), компания участвует в совместной разработке рецептур под требования клиентов, создавая интегрированные решения, которые обеспечивают более высокую рентабельность и позволяют получать информацию о рынке. Эта модель, по словам самой компании, превращает товарные отношения в партнерские с определенной добавленной стоимостью.

Важная роль крупных компаний и брендов заключается еще и в том, что они обладают внушительными знаниями и опытом в части нормативно-правового регулирования, а также влиянием на рынке, необходимыми для проведения сложных процессов утверждения новых стандартов и норм. Их содействие в виде, например, отраслевых консорциумов **может ускорить принятие нормативных актов и установить отраслевые стандарты**, которые принесут пользу всей экосистеме. Например, участие IKEA в консорциумах («Microfibre Consortium», «NextWave Plastics» и прочие), в которые входят и другие глобальные компании, демонстрирует, по словам самой организации, как совместные подходы могут решать общие задачи и ускорять внедрение технологий во

всех отраслях промышленности. А их маркетинговые возможности и коммуникационные стратегии позволяют преодолеть скептицизм в отношении эффективности, который часто сопутствует продуктам, полученным на основе биотехнологий.

По мере дальнейшего развития сектора сложность партнерств и глубина интеграции, вероятно, будут возрастать, создавая более устойчивые и эффективные пути коммерциализации. Так как сами компании считают, что сочетание инноваций и гибкости стартапов с существующими производственными возможностями и доступом к рынку промышленных «гигантов» создает более надежные пути к коммерциализации, чем самостоятельные усилия организаций.

2.3 Возрастающая роль контрактных площадок

В настоящее время в промышленных биотехнологиях наблюдаются изменения в подходах к процессу разработки и производства, где все большую роль начинают играть контрактные площадки, такие как CMO, CDMO и другие формы. Именно они становятся ключевыми участниками, способствующими развитию новых технологий и коммерциализации. Эта трансформация еще раз отражает эволюцию отрасли от вертикально интегрированных моделей разработки к **кооперационным цепочкам создания стоимости и совместной разработке**, которая призвана разрешить ресурсоемкие и рискованные задачи по масштабированию биотехнологических решений от лаборатории до рынка. Эти модели особенно важны для молодых компаний с финансовой стороны, так как требования к финансовому обеспечению для «создания первых в

своем роде инновационных производственных мощностей» часто превышают допустимый уровень риска для скейлапов и инвесторов, что может существенно подорвать жизнеспособность проекта. Поэтому использование услуг контрактных площадок является альтернативным путем, который позволяет сохранить капитал и одновременно выйти на рынок с пробными партиями, позволяя компаниям оценить коммерческий спрос, прежде чем осуществлять значительные инвестиции в основной капитал.

Кроме того, в последние годы на фоне геополитической ситуации скейлапы и небольшие компании все чаще осознают стратегическую ценность географически распределенных производственных мощностей.



В качестве примера можно отметить подход, принятый GF Biochemicals (Франция), которая использует несколько сторонних производственных площадок в разных регионах мира. Можно сказать, что такая географическая диверсификация преследует несколько стратегических целей, включая устойчивость цепочки поставок, близость к рынку сырья и конечного сбыта, а также соблюдение нормативных требований в различных юрисдикциях. Кроме того, по словам GF Biochemicals, в некоторых случаях это позволяет компаниям оптимизировать свои производственные мощности в зависимости от требований к конкретной продукции и рыночных условий. Это особенно релевантно для рынков, характеризующихся неопределенной структурой спроса или меняющимися нормативными требованиями.

Более того, ряд стран даже могут вводить специальные условия в виде упрощенного законодательства, льготных условий открытия и ведения бизнеса в инновационных секторах и т.д., что должно привлекать производственные компании. Например, Сингапур позиционирует себя как потенциальный крупный технологический хаб с близким доступом к дешевому сырью (Таиланд, Вьетнам, Индонезия и т.д.) и «воротами» на рынок Китая и прочих азиатских стран.

Еще одним фактором, который определяет добавленную стоимость и преимущество контрактных площадок, является их **опыт в области регулирования и сертификации**. Конечно, требования к площадкам варьируются в зависимости от категории

выпускаемой продукции и географического расположения, однако наличие оборудования, прошедшего сертификацию, и соответствие стандартам GMP (Good Manufacturing Practice) являются ключевыми требованиями, применимыми в большинстве случаев. Контрактные производители должны поддерживать данные стандарты для различных категорий продукции, обеспечивая при этом строгий контроль качества и мониторинг всех изменений. Поэтому именно они обладают актуальными знаниями в области различных нормативных актов, обеспечивая компании при этом подготовку документации и поддержку в валидации, которые необходимы для получения разрешений на выпуск продукции.

2.4 Проблема «зеленой наценки» («green premium») для биоматериалов

Считается, что «зеленая наценка» является одним из главных препятствий на пути к широкому распространению биопродуктов в различных сферах промышленности. Эта наценка, представляющая собой дополнительные расходы, которые потребители и компании должны нести за экологически чистые альтернативы по сравнению с их традиционными химическими аналогами, отражает текущую экономическую реальность, когда **экологические преимущества биопродуктов еще не привели к паритету затрат на них**.

Однако в отрасли отмечают, что **экологичность сама по себе больше не является ценностным предложением**, то есть мало кто собирается платить больше за экологически чистые продукты, и экологическая сознательность не должна оправдывать завышенные цены. Поэтому все больше внимания уделяется продуктам, которые обеспечивают эквивалентную или превосходящую функциональность при сохранении принципов устойчивого развития, что фактически исключает традиционную модель «экологичного премиум-класса», которая часто подпадает под принципы гринвошинга.



Возможно, текущие цены на биологические аналоги объясняются дополнительными затратами на переработку возобновляемого сырья. Однако, как отмечает компания Borealís (Австрия), эффект масштаба должен способствовать оптимизации цепочки поставок, снижению издержек и, как следствие, уменьшению наценок. Таким образом, наблюдаемую наценку можно рассматривать

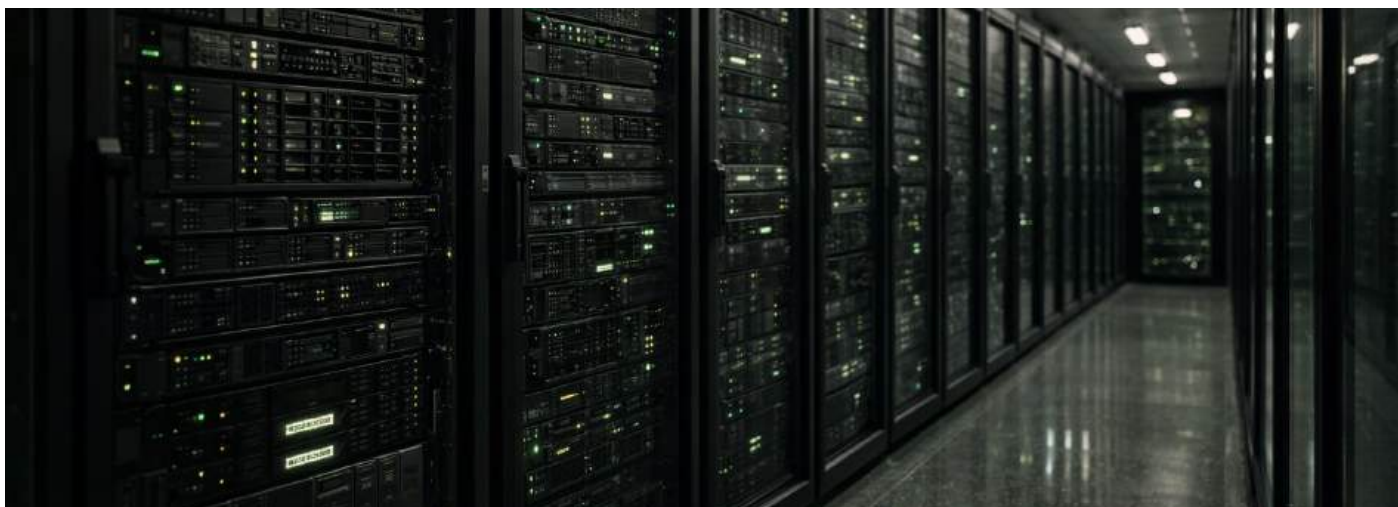
как естественную и ожидаемую, а постепенное расширение производства должно привести к сокращению разницы в ценах. Однако важно подчеркнуть, что это увеличение объемов производства должно быть обусловлено, прежде всего, конкурентоспособностью самих биоматериалов, их улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Например, Emerald Technology Ventures (Швейцария) отмечают, что в некоторых случаях полимеры на биологической основе с улучшенными барьерными свойствами требуют меньшего количества материала для изготовления более тонких покрытий, что в конечном итоге приводит к эквивалентным общим затратам, несмотря на более высокую цену за килограмм. Поэтому превосходящая химические аналоги функциональность на текущем этапе может оправдать премиальные цены, если общая ценность предложения превышает стоимость традиционных альтернатив.

3.1 Искусственный интеллект как катализатор оптимизации биопроцессов

Интеграция искусственного интеллекта в стандартные рутинные процедуры и процессы представляет собой, пожалуй, самый предсказуемый, но одновременно и самый значимый сдвиг в парадигме подходов к разработке новых технологий. Как подчеркивают специалисты отрасли, ИИ коренным образом меняет скорость и точность циклов разработки и коммерциализации. Например, eXoZymes (США) отмечает, что ИИ ускорил процессы разработки новых ферментных молекул, одновременно повысив вероятность и точность их конвертации в потенциальные бизнес-истории. Это ускорение носит не только количественный характер, но и приводит к качественному улучшению прогностических возможностей, особенно в области оценки стабильности белковых молекул, а также функции и активности ферментов. Опыт же TNO

(Нидерланды) демонстрирует, что ИИ может повысить предсказуемость свойств биополимеров за счет включения большого числа данных, характеризующих соединения на молекулярном уровне. Merck и Dow отмечают, что ИИ можно использовать и для предварительного тестирования новых соединений на безопасность и токсичность – созданные модели позволяют уменьшать число тестов на животных и прогнозировать возможные риски их попадания в почву и водоемы. То есть данная эволюция представляет собой **переход от «реактивной» разработки биопроцессов к прогнозной**, когда системы ИИ могут как моделировать оптимальные условия ферментации, так и подбирать оборудование для процесса масштабирования.



Однако, как подчеркивает nova-Institute (Германия), эффективность инструментов ИИ в значительной степени зависит от качества исходных данных, что требует значительных инвестиций в разработку моделей, архитектуры и инфраструктуру их сбора и обработки, прежде чем полностью реализовать потенциал ИИ (здесь действует принцип «garbage in – garbage out», то есть неточные данные на входе приводят к некорректным результатам на выходе). Это создает определенное конкурентное преимущество для организаций, которые систематически собирают и обрабатывают качественные данные о технологических процессах в течение длительного периода времени. Это особенно актуально для «старых» школ, обладающих зачастую систематизированными, воспроизводимыми и проверенными массивами данных, поскольку за счет грамотного внедрения ИИ-инструментов они способны быстрее и эффективнее трансформировать накопленные знания в прогнозные модели и прикладные технологические решения.

3.2 Технологии промышленной ферментации и интенсификации процессов

В профессиональных кругах все чаще звучит мнение, что дальнейшее развитие технологий непрерывного культивирования является одним из важнейших направлений, способным решить ключевые проблемы, с которыми сталкивается отрасль: производительность, надежность и воспроизводимость. Традиционные процессы периодического культивирования, которые практически не менялись десятилетиями, становятся все менее эффективными для удовлетворения экономических потребностей промышленной биотехнологии и производства конкурентоспособных биопродуктов по доступной цене.

Это особенно хорошо видно в сегментах, где получение биологических альтернатив уже вплотную упирается в экономику процесса, а ключевой характеристикой становится сопоставимость по цене и параметрам с химическим аналогом. Масштабирование традиционно считается здесь узким местом: доступ к большим объемам ферментеров ограничен, а капитальные затраты

продолжают расти. В этом контексте непрерывная ферментация воспринимается как способ обойти часть этих ограничений – в первую очередь за счет **более эффективного использования объема реактора во времени.**

Отдельно показательно, что интерес к непрерывной ферментации усиливается именно в связке с «управляемой ферментацией» (прецизионной ферментацией) и рынками пищевых ингредиентов. Здесь давление со стороны стоимости особенно высоко: получение GRAS-статуса, как это уже сделали компании для многих ингредиентов, само по себе не решает проблему, если продукт не может конкурировать по цене с традиционными аналогами. На фоне ограниченного числа крупных ферментационных мощностей и высокой стоимости их строительства спрос на технологии, позволяющие работать в меньших объемах без потери эффективности, выглядит вполне логичным с точки зрения компаний.



Характерный пример в данном направлении – опыт LanzaTech (США), которая на одном из своих пилотных объектов продемонстрировала непрерывный процесс продолжительностью до 300 дней. С их слов, такой режим фактически приближает применяемые в процессе микроорганизмы к роли условных «биологических катализаторов» (по аналогии с химическими процессами или иммобилизованными ферментами): биомасса постоянно поддерживается в рабочем состоянии, отделяется и рециркулируется, а сам процесс становится менее чувствительным к пиковым нагрузкам и токсичности целевого продукта. По мнению компании, инновации в этом направлении способны нивелировать проблемы биосинтеза соединений, связанные с токсичным эффектом целевой молекулы, эффектом ингибирования на клетку, а также с образованием эмульсий и т.д., что в итоге позволяет существенно снизить себестоимость производства.

Кроме того, перспективным направлением также считается **использование более дешевых вариантов субстратов** – действительно, с определенной точки зрения сахара из кукурузы или пшеницы (ГФС, глюкоза и т.д.) могут быть достаточно дорогими для получения конкурентоспособных по цене биоматериалов. В таком случае более логичным

решением может выступать использование малых «строительных» молекул-блоков, например C1- или C2-соединений. Так, ряд компаний налаживают ферментационный процесс под использование газов (например, CO₂ или CH₄) и спиртов (например, метанол или этанол).

3.3 «Платформенность» решений для ускорения процессов разработки и вывода продуктов на рынок

В данном случае тренд в направлении идет в сторону разработки модульных и универсальных технологических платформ, позволяющих производить широкий спектр молекул (от аминокислот до акрилатов) на одной технологической базе. Например, DAB.bio (Нидерланды), со слов компании, разрабатывает автоматизированную биофабрику, в которой сочетаются гибко настраиваемые биореакторы, оптимизация с помощью цифровых инструментов, а также поддержка разных штаммов. Другая CDMO – Pow.Bio (США) – разрабатывает и предоставляет для использования свою платформу на базе специально адаптированных ферментеров для непрерывного культивирования, которая еще сочетается с ПО для оптимизации технологического процесса и сбора больших данных. Все эти

платформы по своей логике представляют собой **технологические «операционные системы» для биосинтеза** – они снижают барьеры входа на рынок, ускоряют масштабирование и повышают воспроизводимость процессов. Важную роль в данных платформах в последнее время играет цифровизация и ИИ: компании используют решения для моделирования, оптимизации и управления биопроцессами, симуляции метаболических путей, прогнозирования выхода продукта, управления биореакторами и анализа данных культивирования в реальном времени. Все это позволяет компаниям крайне быстро отрабатывать определенные гипотезы – итерации могут составлять месяцы или даже недели, а отладка процесса до пилотного объема – менее года.



В 2025 году Ginkgo Bioworks (США) в рамках контракта с Министерством энергетики США поставила автономную лабораторию AMP2, которая представляет собой установку для фенотипирования анаэробных микроорганизмов. В рамках AMP2 около двух десятков автоматизированных единиц и инструментов интегрированы в герметичную среду, где роботы могут перемещать образцы, подготавливать питательные среды и проводить аналитические исследования. Ключевой момент в данном случае – это формат «user facility», что опосредует ее универсальность и платформенность: автономная лаборатория размещается в национальном исследовательском центре, куда приходят десятки и сотни внешних пользователей, что предполагает применение единых интерфейсов, предсказуемых форматов данных и воспроизводимых протоколов. До 2030 года компания должна будет поставить более крупный комплекс оборудования M2PC (Microbial Molecular Phenotyping Capability), включающий 97 роботизированных модулей и более 100 аналитических инструментов в пространстве порядка 3000 м². Он должен стать одним из самых крупных автономных научных объектов в мире.

4 Основные акторы и производственные направления современных промышленных биотехнологий

Компании сами отмечают, что скорость инновационных циклов в промышленных биотехнологиях существенно ускорилась по сравнению с началом 2000-х годов. Отчасти это связывают с совершенствованием и отладкой самих технологий, с другой – с более проработанными бизнес-моделями, где существенную роль играют кооперационные связи при разработке.

Продуктовая линейка производственных компаний варьируется от отдельных микробных метаболитов до специализированных решений – биоматериалов,

наночастиц и цифровых платформ для биомоделирования. Компании нередко комбинируют продукт и сервис, предлагая не только конечные молекулы, но и технологические платформы их получения, что указывает на высокую технологическую сложность и проработанность бизнес-моделей, где продуктовая ценность формируется не только физическим продуктом, но и **доступом к технологии, интеллектуальной собственности и инженерной поддержке**. Многие решения также имеют выраженную экологическую направленность, особенно в сегменте биоматериалов.

4.1 Биомономеры и биополимеры

Одним из наиболее активных направлений является производство биоматериалов, включая биопластики нового поколения. Так, компания Primient Covation LLC (США) производит 1,3-пропандиол (1,3-PDO) – мономер, применяемый в создании полимеров нового поколения, таких как полибутилентерефталат (PBT), а также в текстиле, упаковке и покрытиях. Еще один пример – компания QIRA (Германия), совместное предприятие Cargill и HELM, которая производит 1,4-бутандиол (1,4-BDO), который используется для получения эластомеров, растворителей и сложных полиэфиров. Помимо QIRA 1,4-BDO в промышленном масштабе также выпускает Novamont Spa (Италия). Mevaldi (Нидерланды) в опытно-промышленном режиме производит 3-метил-1,5-пентандиол (3-MPD) и 3-метил-дельта-валеролактон (3-MDVL) для последующего синтеза полиуретанов и полиэфиров с более низким углеродным следом. Дочерняя компания Michelin – Michelin ResiCare (Франция) – в ближайшие два года планирует запустить уже крупнотоннажное производство 5-гидроксиметилфурфурола (5-HMF) – одного из ключевых прекурсоров в химической отрасли.

Классические биопластики также продолжают свое активное проникновение на рынок, например, TotalEnergies Corbion (Нидерланды) – крупнейший европейский производитель PLA, которая используется затем в 3D-печати, упаковке, одноразовой посуде и медицинских изделиях, а

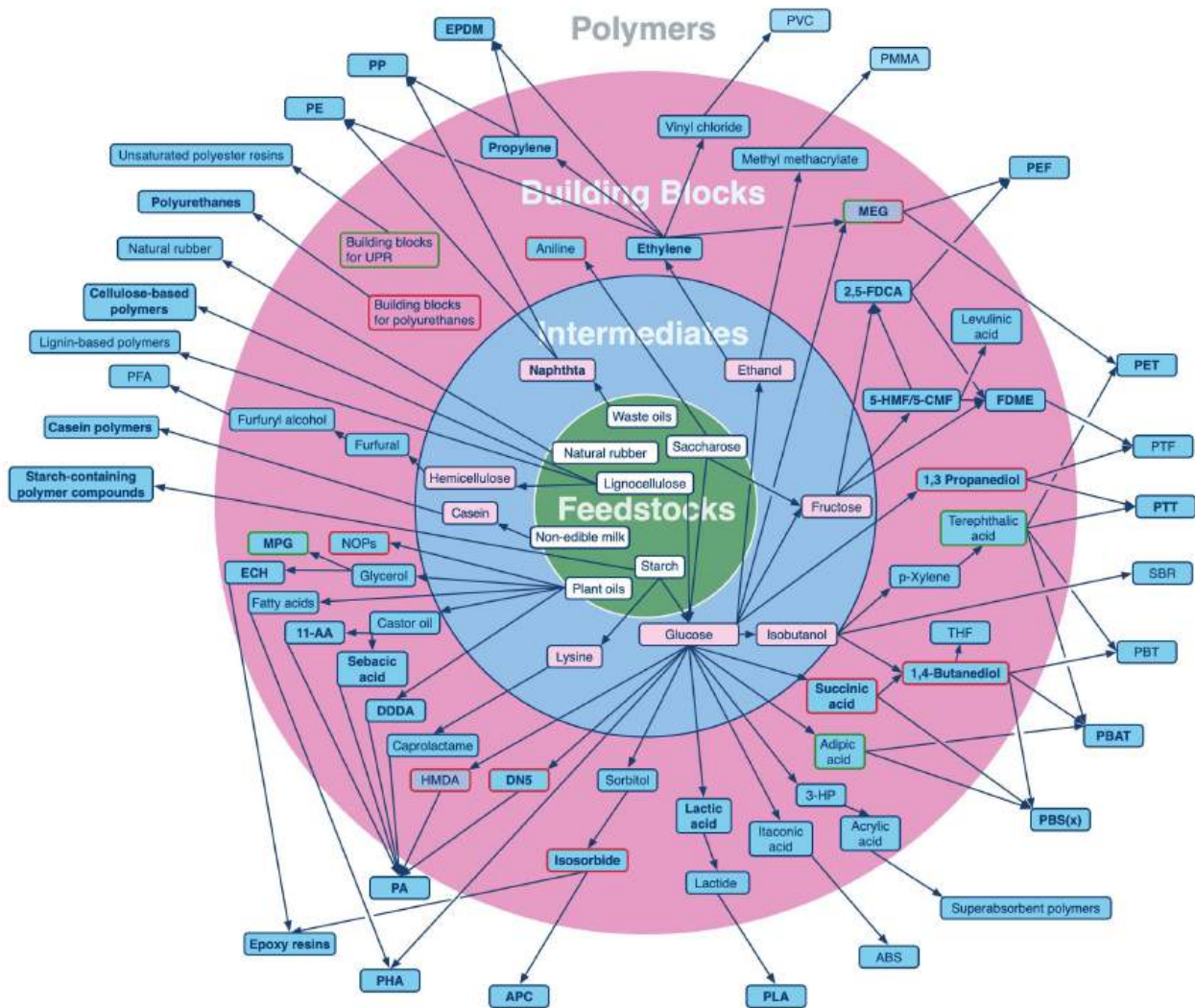
также NatureWorks LLC – дочернее предприятие Cargill – крупнейший производитель PLA в мире. На более ранних стадиях находятся компании, разрабатывающие альтернативные природные и биоразлагаемые материалы. Так, Biotic Circular Technologies (Израиль) создает PHBV – биопластик из семейства PHA, производимый из органических отходов, MYCOTEX by NEFFA (Нидерланды) работает с материалами на основе мицелия грибов, создавая ткани и полимерные заменители кожи, что актуально для текстильной и модной промышленности, а Industrial Microbes (США) разрабатывают технологическую платформу для биосинтеза акриловой кислоты, ее эфиров и акрилонитрила. Кроме того, значительная часть компаний занимается модификацией целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов. Например, Metsä Fibre (Финляндия), KCL Oy (Финляндия) и Nordic Bioproducts Group (Финляндия) разрабатывают микрокристаллическую целлюлозу, нанофибриллы, лигниновые композиты и материалы для упаковки и инженерных применений. Эти продукты используются как структурные наполнители, пленочные материалы и носители для функциональных добавок.

Важно отметить, что, в отличие от химических аналогов, биоматериалы в этих проектах – не всегда просто альтернативные заменители, а самостоятельные продукты с новыми

функциональными возможностями. Они могут быть «адаптивными» к окружающей среде, совместимыми с живыми тканями (в случае применения в медицине), либо легче утилизируемыми в условиях

компостирования. Это находит особенный отклик в таких секторах, как фармацевтика, сельское хозяйство, текстиль и бытовая химия.

Карта способов получения биомономеров из природного сырья и биополимеров на их основе



Источник: <https://doi.org/10.52548/UMTR4695>

4.2 Функциональные ингредиенты

Значительное число компаний работает над получением молекул биотехнологического происхождения с высокой добавленной стоимостью: сладких белков, липидов и жиров, пигментов, ароматизаторов, биопрепаратов для сельского хозяйства и т.д. Примеров таких компаний-производителей достаточно количество, отдельно хотелось бы подсветить Everdye (Франция), которая предлагает красители, пигменты, полученные на основе

биосырья, что вписывается в тенденцию по уходу от химически синтезируемых пигментов к натуральным, нетоксичным и биоразлагаемым аналогам. Подобные разработки востребованы в текстильной, пищевой и косметической промышленности. Компания Arborea (Великобритания) в пилотных объемах также готова производить пигменты и отдельные функциональные ингредиенты на базе микроводорослей.

4.3 Цифровые платформы и ПО

Некоторые компании, такие как iMEAN Biotech (Франция) или BioIntelligence Technologies (Канада), фокусируются на цифровизации биопроизводства. Их продукция включает программные платформы для оптимизации биопроцессов, автоматизацию культивирования, моделирование биохимических реакций. Это направление развивается параллельно с промышленной автоматизацией и направлено на

повышение предсказуемости и управляемости биотехнологических процессов. Довольно часто цифровые платформы являются частью функционала специализированных CDMO, которые выставляют их как конкурентное преимущество, обеспечивающее более оперативную отладку процессов производства и получения пилотных партий.

4.4 Услуги контрактного производства

Одной из важнейших структурных особенностей западного рынка современных промышленных биотехнологий является широкое присутствие компаний формата CMO и CDMO. Эти игроки выполняют инфраструктурную функцию: они предоставляют технологическую, инженерную и производственную среду для компаний, которые не обладают собственными возможностями масштабирования или коммерческого производства. В отличие от производителей конечной продукции, CMO и CDMO работают в логике сервиса B2B, обеспечивая переход разработок от лабораторного

уровня к промышленному применению. CMO-организации, такие как Wacker León S.L.U. (Испания) и Bio Base Europe Pilot Plant (Бельгия), предлагают полный цикл контрактных услуг:

- проведение пилотных и демонстрационных серий (upstream и downstream),
- масштабирование до промышленного уровня,
- производство на условиях аутсорсинга (включая GMP, food grade, REACH-сертификацию),
- подготовка технологической документации.

Иными словами, CMO позволяют заказчику сосредоточиться на R&D и маркетинге, в то время как отработка, валидация и выпуск продукта происходят на инфраструктуре подрядчика. Эти организации располагают многоформатными производственными линиями, парками биореакторов, аналитическими лабораториями и отделами инженерного сопровождения. Особенно важна их роль для стартапов и научных коллективов, у которых отсутствуют ресурсы для строительства собственных производственных мощностей.

CDMO, такие как DAB.bio (Нидерланды), Pow.Bio (США), Acies Bio d.o.o. (Словения) и DMC Biotechnologies (США), идут еще дальше, помимо услуг CMO предлагая услуги по разработке и масштабированию биотехнологических процессов на основе их собственных технологических платформ. Данные платформы представляют собой переход от

индивидуальных разовых решений к стандартизированным, масштабируемым системам, которые могут быть адаптированы для различных биологических продуктов при сохранении эффективности и экономичности с точки зрения затрат.

5 Заключение

Текущая повестка в части современных промышленных биотехнологий отражает то, что отрасль перешла в фазу институционального и технологического «взрождения», в которой ключевым фактором успеха становится не столько наличие отдельных научных прорывных разработок, сколько способность их масштабирования и рыночной валидации. Наиболее коммерчески жизнеспособные проекты функционируют в логике интегрированной цепочки создания стоимости, в рамках которой комбинируются инженерная экспертиза, контрактная инфраструктура для тестирования и первичной наработки продукта, а также крупные промышленные заказчики и потребительские бренды конечной продукции, которые выступают якорными заказчиками технологии, соинвесторами, а иногда и со-разработчиками.

Таким образом, рассмотренные международные практики не являются «чуждыми» или неприменимыми к российским условиям, а напротив, могут служить ориентиром для выстраивания собственных инструментов поддержки и развития отрасли с

учетом имеющихся национальных особенностей, ресурсной базы и промышленного потенциала, особенно в связи с запуском Национальных проектов технологического лидерства в сферах биоэкономики и продовольственной безопасности. Международный опыт демонстрирует, что приоритетное внимание со стороны государства целесообразно уделять развитию инфраструктуры, а именно созданию благоприятных условий для масштабирования биопроцессов, включая развитие контрактных и пилотных производственных мощностей, а также стимулированию более тесных кооперационных форм взаимодействия между научно-образовательными организациями, стартапами, инжиниринговыми компаниями и промышленными заказчиками. Немаловажное значение в части новых технологических подходов приобретает платформенность, которая включает как универсальные производственные площадки, так и цифровые инструменты и системы сбора и накопления данных, которые в долгосрочной перспективе позволят снизить технологические и инвестиционные риски проектов.

Об авторах



Костинов Антон

Руководитель экспертно-аналитической практики

Ассоциация «ТП БиоТех2030»

kostinov@biotech2030.ru



Осьмакова Алина

Заместитель директора по стратегическим коммуникациям

ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН

a.osmakova@fbras.ru



Хорошун Ирина

Председатель Правления

Ассоциация «ТП БиоТех2030»

irina@biotech2030.ru



Сапун Софья

Руководитель практики по отраслевому взаимодействию

Ассоциация «ТП БиоТех2030»

sapun@biotech2030.ru

Об Ассоциации «ТП БиоТех2030»

Ассоциация «Технологическая платформа БиоТех2030» – это отраслевая некоммерческая ассоциация, созданная по инициативе ведущих научных институтов и профильного бизнеса в целях совершенствования научно-технической и инновационной политики для развития биоэкономики в России. Ассоциация выступает экспертно-аналитической площадкой, объединяющей компетенции науки, бизнеса и государства для разработки стратегических инициатив, аналитических исследований и отраслевых решений. Более чем за 10 лет работы организация реализовала десятки экспертно-аналитических проектов и сотрудничает с ведущими компаниями агропромышленного, химического и энергетического секторов, а также с федеральными органами исполнительной власти.



@PROM_BIOTECH

Еще больше материалов про
промышленные биотехнологии
и биоэкономику



BIOTECH2030

© Ассоциация «ТП БиоТех2030» 2026. Все права защищены.

При использовании информации из документа ссылка на Ассоциацию «ТП БиоТех2030» обязательна.