

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ
по срезу технологий технологического суверенитета, БРИКС

Президент Фонда
«Технопарк Академгородка»

_____/Р.З. Сагдеев/

Содержание

		стр.
	Введение	3
1	Нейро- и биотехнологии для человека	5
2	Технологии массового параллельного секвенирования	27
3	Технологии анализа больших геномных данных	37
4	Технологии предсказательной биоинформатики и «обратной генетики»	41
5	Сенсорика живых организмов и систем	45

ВВЕДЕНИЕ

В основе отчета по срезу технологий технологического суверенитета стран БРИКС лежит методология оценки технологического суверенитета, разработанная Агентством стратегических инициатив, Платформой НТИ, Фондом НТИ и Университетом 2035. Ядром проектирования является пирамида (модель) технологического суверенитета и периодическая таблица технологий, адаптированные под задачи международного сотрудничества для коллективного достижения технологического суверенитета. Основная цель такого подхода к проектированию технологического развития – обеспечение технологической кооперации стран БРИКС по ключевым технологиям.

В отчете представлены технологии, лежащие в основе платформы суверенного технологического развития, разработанные НТИ и составляющие ключевые технологические направляющие НТИ «Хелснет» по направлению биотехнологии (рисунок 1)¹.

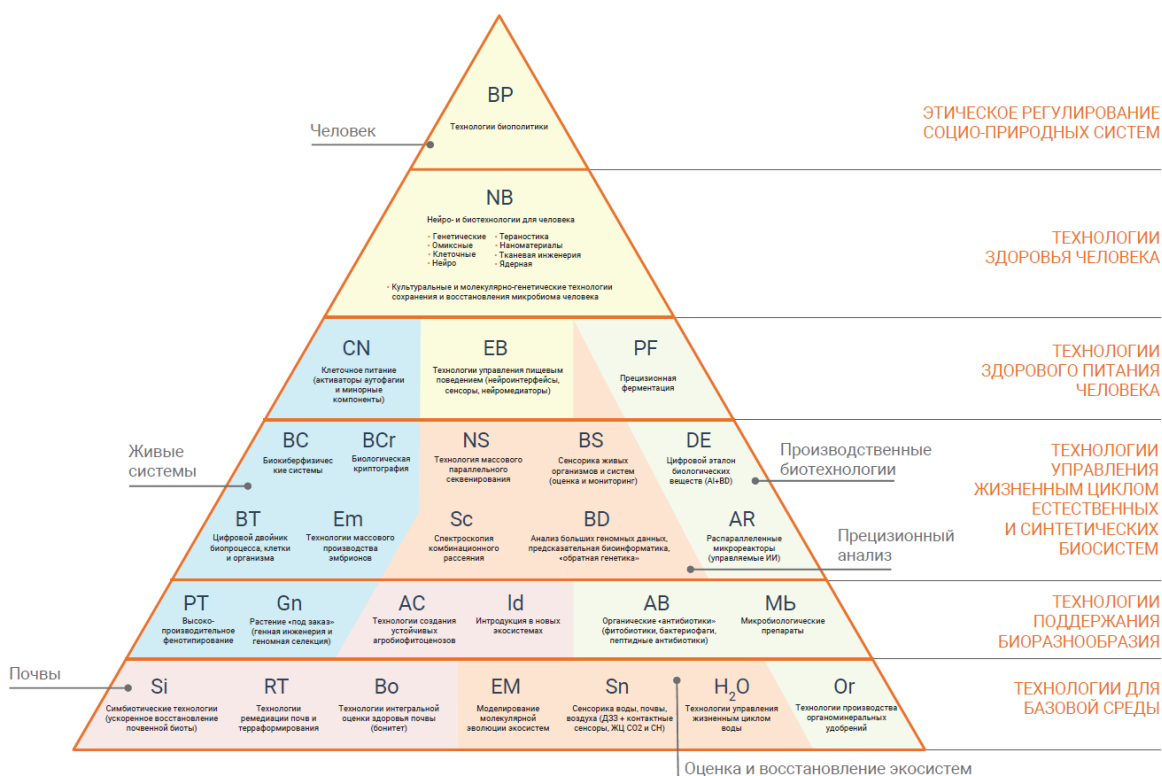


Рисунок 1 – Модель технологического суверенитета по направлению Биотехнологии

В состав технологий были включены наиболее перспективные и востребованные на рынке здравоохранения следующие направления, включенные в пирамиду технологического суверенитета:

1. ТЕХНОЛОГИИ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА:

Нейро- и биотехнологии для человека:

- Генетические технологии;
- Клеточные технологии;
- Тераностика и ядерная медицина;
- Наноматериалы;
- Тканевая инженерия;
- Омиксные технологии.

¹ Платформа суверенного технологического развития // <https://ts.nti2035.ru/>

2. ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ЕСТЕСТВЕННЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ БИОСИСТЕМ:

- Технология массового параллельного секвенирования;
- Технологии анализа больших геномных данных;
- Технологии предсказательной биоинформатики;
- Технологии «обратной генетики»;
- Сенсорика живых организмов и систем.

В перечень включены ключевые направления развития биомедицины и биотехнологий, которые формируют основу технологического суверенитета и задают приоритеты и перспективы развития. Первый блок – технологии здоровья человека – охватывает генетические и омиксные подходы, клеточные и тканеинженерные технологии, нейробиотех, тераностические решения, наноматериалы, ядерную медицину. Их общая цель – переход от реактивной медицины к персонализированной, превентивной и регенеративной: точная диагностика на молекулярном уровне, адресная терапия, восстановление утраченных функций органов и систем, управление состоянием нервной системы и когнитивного здоровья. Нейротехнологии и технологии микробиома выделены как смежные направления и вынесены за контур настоящего анализа.

Второй блок – технологии управления жизненным циклом естественных и синтетических биосистем – обеспечивает инструментальную и цифровую «надстройку» над клиническими решениями. Массовое параллельное секвенирование, сенсорика живых систем, анализ больших геномных данных, предсказательная биоинформатика и «обратная генетика» позволяют быстро считывать биологическую информацию, моделировать и целенаправленно изменять поведение клеток и организмов. В современной медицине эти технологии играют роль стратегической инфраструктуры: они лежат в основе разработки новых лекарственных препаратов и диагностических тестов, систем раннего выявления заболеваний и позволяют строить устойчивую, научно и технологически независимую систему здравоохранения.

В отчете представлены технологические «матрицы», отражающие уровни владения отдельными технологиями каждой из стран БРИКС. Концепция опирается на «режим светофора», где зеленый – это ключ к технологическому суверенитету через создание лидерских позиций на национальном и глобальном рынках, желтый отражает потенциал владения технологией и красный – технологический кризис.

Ключ 	• Собственные линии разработки обеспечивают 2-3 следующих поколения этой технологии • Суверенные решения на базе этой технологии востребованы на глобальных рынках • Технологические решения и подходы лежат в основе международных технологических стандартов
Шанс 	• Созданы или разрабатываются суверенные платформы на базе этой технологии обеспечивающие масштабирование ее применения • Компании лидеры имеют передовые продукты и центры компетенций • Развернуты программы опережающей подготовки
Кризис 	• Отсутствует системная и масштабная работа по технологическому направлению • Прогрессирует отставание

1. Нейро- и биотехнологии для человека

Домен «Нейро- и биотехнологии для человека» (NB) охватывает совокупность технологий, которые переводят медицину от описательного подхода к управлению конкретными молекулярными и клеточными механизмами здоровья и болезни. Здесь соединяются биологические платформы, обеспечивающие точную диагностику, таргетное воздействие и восстановление функций органов и тканей. В практическом контуре NB формируется основа для прецизионной, регенеративной и профилактической медицины, которая становится ключевой траекторией развития здравоохранения.

Генетические технологии

Под генетическими технологиями понимают целый стек решений: высокопроизводительное секвенирование (NGS) и биобанкинг, клиническую интерпретацию геномных данных, генно- и геномную терапию, редактирование генома (CRISPR и другие платформы), РНК-препараты (мРНК-вакцины, siRNA, антисмысловые олигонуклеотиды), а также геномику патогенов для надзора за инфекциями. Именно это сочетание лежит в основе прецизионной медицины, которая рассматривается как ключевое направление здравоохранения на ближайшее десятилетие.

Клинически генетические технологии дают три основных эффекта. Во-первых, это точная диагностика и стратификация пациентов: панели и экзомы позволяют выявлять редкие наследственные неврологические и метаболические заболевания, онкогенные мутации, фармакогенетические риски и тем самым подбирать таргетную терапию и безопасные дозировки лекарств.

Во-вторых, формируется класс однократных или краткосрочных генных и генетически модифицированных клеточных терапий (cell & gene therapy) для орфанных болезней, включая гемофилию, спинальную мышечную атрофию, мышечную дистрофию Дюшенна и ряд нейродегенеративных состояний.

В-третьих, геномика патогенов стала ключевым элементом готовности к пандемиям: глобальная стратегия ВОЗ по геномному надзору 2022–2032 прямо ориентирована на развертывание NGS-платформ и биоинформатики в национальных системах здравоохранения.

Компании стран БРИКС, занятые в этом секторе представлены в таблице 1.1.

Россия делает ставку на государственную инфраструктуру и собственные терапии. ФНТП «Развитие генетических технологий» на 2019–2030 годы и Стратегия научно-технологического развития закрепили генетические технологии как приоритет; к 2025 г. на базе ведущих институтов РАН, НМИЦ и НИЦ «Курчатовский институт» формируются пять центров геномных исследований мирового уровня, включая направление высокоточного редактирования генома для биомедицины.

На уровне индустрии «Биокад» разрабатывает AAV-генную терапию ANB-002 для гемофилии В. «Генериум» в сотрудничестве с университетом «Сириус» начал клинические испытания генной терапии GNR-097 при мышечной дистрофии Дюшенна. В совокупности это делает Россию сильной в сегменте оригинальных генных терапий и интеграции генетики в практику НМИЦ (онкология, гематология, неврология).

Китай выступает глобальным центром геномики и клеточно-генной терапии. Группа BGI и её дочерняя BGI Genomics предоставляют широкий спектр NGS- и биоинформатических услуг, а также панели генетических тестов для клиники и исследований более чем в 100 странах, поддерживая большие популяционные когорты и программы прецизионной медицины.

Отраслевые обзоры и аналитика CAR-T-рынка отмечают, что Китай проводит свыше 50 % мировых клинических испытаний CAR-T и других клеточных терапий и быстро наращивает портфель CGT-продуктов, включая исследования при солидных опухолях и аутоиммунных заболеваниях. Это усиливает его позиции как лидера по трансляции генетических технологий в онкологию и иммунологию.

Индия концентрируется на популяционной геномике. Государственный проект Genomelndia, финансируемый Министерством науки и технологий, к 2025 г. завершил секвенирование более 10 000 геномов из 83 общин и создал национальную эталонную базу данных, которая должна лечь в основу индийской референсной панели для прецизионной медицины. На этом фундаменте страна развивает рынок генетической диагностики и клинических исследований генотерапии, опираясь на сильную контрактную производственную базу в биофарме.

Бразилия демонстрирует, как генетические технологии встраиваются в систему общественного здравоохранения. Rede Genômica Fiocruz объединяет специалистов всех подразделений Fiocruz и партнёрских институтов для расшифровки геномов SARS-CoV-2 и мониторинга вариантов; сеть стала национальным ядром геномного надзора, обеспечивая десятки тысяч последовательностей для эпиднадзора и обновления вакцинных стратегий.

На стороне клинической диагностики лаборатория Mendelics — первый и крупнейший в Бразилии и Латинской Америке специализированный центр геномной диагностики редких заболеваний и наследственного рака, использующий NGS, включая экзом и широкие панели, и тем самым упрощающий доступ к генетическому тестированию.

ЮАР и Эфиопия усиливают африканский контур геномики. В ЮАР Sydney Brenner Institute for Molecular Bioscience (SBIMB, Университет Витватерсранда) специализируется на геномной этиологии заболеваний у африканских популяций, развивая исследования в областях популяционной генетики, биоинформатики и эпидемиологии и участвуя в пан-африканских сетях (H3Africa и др.).

В Эфиопии Институт общественного здравоохранения (EPHI) создал интегрированную платформу Pathogen Genomics & Bioinformatics, которая обеспечивает секвенирование патогенов и биоинформатический анализ для систем эпиднадзора и борьбы с вспышками, а также развивает региональные геномные хабы.

Armauer Hansen Research Institute (AHRI) через директорат по биотехнологии и биоинформатике и партнёрство с BGI наращивает мощности в WGS, экзомном и метагеномном секвенировании и заявляет целью развитие прецизионной медицины в Эфиопии.

Генетические технологии дают странам БРИКС возможность перехода от реактивной медицины к прецизионным моделям профилактики и лечения — от генетически стратифицированных когорт до генных терапий, адресующих тяжёлые неврологические и редкие заболевания, и встроенного в здравоохранение геномного надзора за инфекциями.

Клеточные технологии

Клеточные технологии для здоровья человека — это использование живых клеток как «лекарства» или ключевого компонента терапевтической системы. К ним относятся трансплантация кроветворных стволовых клеток (HSCT), терапия мезенхимальными стволовыми клетками, иммунные клеточные препараты (CAR-T, NK-клетки и др.), а также комбинированные продукты, где клетки сочетаются с матриксами, биополимерами или медицинскими изделиями; современные обзоры рассматривают именно клеточную терапию как ядро регенеративной медицины, лечения иммунных заболеваний и рака.

Первая и до сих пор базовая форма клеточной терапии — гемопоэтическая трансплантация стволовых клеток, которая остаётся потенциально куративным методом для многих злокачественных и незлокачественных гематологических заболеваний (лейкозы, лимфомы, серповидно-клеточная анемия, тяжёлые иммунодефициты и наследственные метаболические болезни).

На следующем уровне — генетически модифицированные клеточные технологии, прежде всего CAR-T: клинические и обзорные работы показывают высокие частоты ремиссий при рецидивных/рефрактерных В-клеточных лимфомах и лейкозах и улучшение выживаемости по сравнению со стандартной терапией.

Для нейро- и восстановительной медицины особый интерес представляют стволово-клеточные продукты: систематические обзоры и метаанализы по мезенхимальным стволовым клеткам при ишемическом инсульте демонстрируют функциональное улучшение у

части пациентов при приемлемом профиле безопасности, но подчёркивают необходимость дальнейших исследований до включения в стандарты лечения; аналогично, стволоклочные БМКП рассматриваются как одно из перспективных направлений терапии нейродегенеративных заболеваний.

В **России** клеточные технологии институционализированы через правовой режим биомедицинских клеточных продуктов (БМКП), который охватывает аутологичные и аллогенные клетки, клеточные линии в сочетании с лекарствами и медизделиями и нацелен на регенерацию кожи и хряща, восстановление нервной ткани, онкологию (CAR-T, дендритно-клеточные вакцины), трансплантологию и лечение иммунных заболеваний.

На стороне индустрии компания «Генериум» располагает первой в России и одной из крупнейших в Европе лицензированной площадкой по производству БМКП, включающей зарегистрированные клеточные продукты и собственный R&D-парк. Сеченовский университет запустил проектно-производственный центр по созданию БМКП для клинического применения и биопечатных конструкций для восстановления тканей, фактически объединяя клеточные технологии и тканевую инженерию.

В клинической онкогематологии Россия опирается на национальные центры. НМИЦ гематологии Минздрава РФ получил лицензию на производство персонализированных БМКП, включая CAR-T-продукты, и стал первым центром в стране с полным набором разрешений; в рамках собственного проекта к 2025 г. здесь пролечено не менее 60 взрослых пациентов, параллельно строится специализированный комплекс по производству CAR-T-препаратов с запуском после 2026 г. НМИЦ радиологии Минздрава изготавливает индивидуальный БМКП «Т-клетки с химерным рецептором к CD19» и применяет CAR-T-терапию в клинике, формируя вторую национальную площадку компетенций.

На уровне политики национальный проект «Новые технологии сбережения здоровья» прямо называет БМКП, продукты тканевой инженерии и нейротехнологии приоритетом «медицины здорового долголетия», с ожиданием вывода на рынок препаратов для восстановления хряща, головного и спинного мозга и коррекции когнитивных нарушений после 2026 г.

Россия сильна в регуляторной базе, наличии крупных производственных площадок и формирующейся сети НМИЦ/университетов, готовых работать с высокотехнологичными клеточными препаратами, включая нейропротективные и нейрорегенеративные решения.

Китай выделяется как один из мировых лидеров в области клеточных иммунных технологий. По данным 2024 г., из 11 зарегистрированных в мире CAR-T-продуктов пять одобрены регулятором NMPA, а страна занимает ведущие позиции по числу клинических испытаний и патентных заявок в области CAR-T. В 2022–2023 гг. NMPA опубликовало специализированные руководства по GMP для клеточных продуктов и иммунной клеточной терапии, что ускоряет вывод отечественных CAR-T и других клеточных препаратов на рынок и закрепляет Китай как масштабный центр клеточных технологий в онкологии и иммунологии. Ключевые игроки — JW Therapeutics (Shanghai) и IASO Bio.

В **Индии** фокус делится между терапией стволовыми клетками и собственными CAR-T-решениями. Обновлённые национальные руководства ICMR и DBT подчёркивают, что любые клеточные вмешательства должны проводиться строго в рамках одобренных клинических исследований, что формирует жёсткий, но необходимый регуляторный контур. Параллельно развивается сегмент доступных клеточных препаратов: индийская компания ImmunoACT вывела на рынок собственный CAR-T-продукт и в 2025 г. объявила о программе bridge-финансирования совместно с Mango Sciences, чтобы сделать терапию лейкозов и лимфом более доступной для пациентов с ограниченными ресурсами.

В **Бразилии** Anvisa в 2023 г. разрешила первый национальный клинический протокол по CAR-T-клеткам в онкогематологии (FUNDHERP совместно с Instituto Butantan), что стало ключевым шагом к созданию собственной платформы клеточной терапии. В 2024 г. государственный институт Fiocruz и некоммерческая организация Caring Cross объявили о сотрудничестве по созданию локального производства CAR-T и генотерапий стволовых клеток для онкологических, инфекционных и генетических заболеваний в Бразилии и Латинской Америке; модель

предполагает радикальное снижение себестоимости и возможность бесплатного предоставления CAR-T-терапии пациентам в системе SUS. Лидеры региона — Celluris Biotecnologia и Cellavita — разрабатывают аутологичные CAR-T-клеточные продукты, а Cellavita описывает собственную платформу NestaCell® как аллогенную терапию на основе мезенхимальных стволовых клеток. Это делает Бразилию зарождающимся центром «доступных» продвинутых клеточных технологий.

В **ОАЭ** клеточные технологии развиваются вокруг связки «высокотехнологичная клиника + биобанкинг». Abu Dhabi Stem Cells Center — флагман по HSCT и регенеративным протоколам, а Dubai Cord Blood and Research Center и частные игроки вроде CellSave Arabia и Bioscience Institute формируют крупный рынок хранения и использования стволовых клеток (пуповинная кровь, MSC, экзосомы) с сильным уклоном в ортопедию, лечение диабета и anti-age-терапию.

Иран — один из немногих примеров почти замкнутой национальной экосистемы клеточных технологий: Royan Institute и Royan Stem Cell Technology закрывают фундамент, клинику и биобанкинг, CellTech Pharmed серийно выпускает зарегистрированные клеточные препараты (кожа, суставы, витилиго), а CinnaGen и AryoGen обеспечивают крупное производство биопрепаратов на клеточных линиях. Есть свои среды, факторы роста и расходники (Arya Mabna и др.) — страна лечит пациентов клеточными продуктами и одновременно сама производит критические компоненты. Для России это интересный партнёр по массовому, «фабричному» клеточному производству и технологическому суверенитету.

В **ЮАР** «клеточный контур» делится на три опоры: частный банкинг стволовых клеток (Next Biosciences / Netcells, включая продукты из амниотической оболочки), национальное производство вакцин и биопрепаратов на клеточных линиях (Biovac, Afrigen как mRNA-хаб ВОЗ) и инфраструктура для биопроизводства (CSIR BIDC).

В целом в домене «Нейро- и биотехнологии для человека» клеточные технологии обеспечивают странам БРИКС переход от замещающей и симптоматической терапии к регенеративным и потенциально терапевтическим подходам — от HSCT и CAR-T при онкогематологических и наследственных заболеваниях до стволоклеточных и БМКП-решений для восстановления нервной ткани и снижения бремени нейродегенеративных и сосудистых заболеваний.

Тераностика и ядерная медицина

Тераностика — это подход, при котором один и тот же молекулярный таргет и часто одна и та же платформа используются сначала для высокочувствительной диагностики, а затем для таргетной терапии. Наиболее зрелое направление сегодня — радионуклидная тераностика: пары радиофармпрепаратов, где, например, ^{68}Ga -меченый лиганд применяется для ПЭТ-диагностики, а ^{177}Lu -меченый аналог — для терапии той же мишени (соматостатиновые рецепторы, PSMA и др.). Современные обзоры подчёркивают, что такие «радиомолекулярные» технологии становятся ядром прецизионной онкологии и ключевым драйвером развития ядерной медицины в мире.

Россия выступает как один из ключевых центров развития радионуклидной тераностики. В структуре НМИЦ им. В.А. Алмазова создано отделение ядерной медицины и тераностики, которое занимается разработкой и клиническим применением диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов, сочетая ПЭТ/КТ, SPECT и радионуклидную терапию. Российский научный центр радиологии и хирургических технологий ФМБА и другие профильные учреждения внедрили радиолигандную терапию ^{177}Lu -PSMA-617 у пациентов с кастрационно-резистентным РПЖ.

Инфраструктурную базу создаёт дивизион «Технологии здоровья» Росатома: один из трёх мировых поставщиков актиния-225, продвигает свои радиофармпрепараты (включая ^{18}F -ФДГ, ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -генераторы и др.) на внешние рынки, строя центры ядерной медицины и производства РФП в партнёрских странах (например, центр в Боливии).

Сильная сторона России — полный цикл от реакторов и циклотронов до GMP-производства и клинических протоколов, что даёт ей потенциал «донорской» страны по тераностикам для партнёров по БРИКС.

Китай и Индия формируют второй полюс роста. В Китае крупные университетские клиники (например, ключевая лаборатория ядерной медицины провинции Сычуань) публикуют

собственные мета-анализы по ^{177}Lu -DOTATATE при нейроэндокринных опухолях, подтверждая высокие показатели контроля болезни и приемлемую токсичность.

Профильные комитеты Китайской антираковой ассоциации и Ассоциации врачей ядерной медицины выпустили рекомендации по ^{177}Lu -PSMA-радиолигандной терапии, что фактически легализует PSMA-тераностику. Сильные стороны Китая — массовая клиническая база и развитый собственный радиофарм- и приборостроительный сектор, что ускоряет перевод исследований в рутину.

В **Индии** тераностика уже стала одной из ведущих ниш ядерной медицины: широкое использование ^{177}Lu -DOTATATE, ^{177}Lu -PSMA и новых радиолигандов (например, FAPI) в крупных центрах, при этом отмечаются проблемы неравномерного доступа и логистики радиофармпрепаратов. Крупнейшие онкологические и диагностические учреждения — Tata Memorial Hospital, AIIMS, сети Apollo и Mahajan Imaging — предлагают ^{177}Lu -PSMA-терапию как рутинную услугу для пациентов с метастатическим РПЖ, в том числе для медицинского туризма. Отлаженные клинические протоколы и опыт массового применения при ограниченных ресурсах делают Индию удобным партнёром для обмена клиническими алгоритмами и обучением кадров.

В **Бразилии** тераностика пока развивается точечно, но быстро институционализируется. Международный фонд ICPO и Бразильское общество ядерной медицины (SBMN) подписали соглашение о создании сети аккредитованных Clinical Theranostics Centers of Excellence, с едиными международными стандартами, сертифицированным обучением и аудитом качества, чтобы расширить доступ бразильских пациентов к радионуклидной тераностике. Сильные стороны — активное профессиональное сообщество и подключение международных фондов; слабые — дефицит подготовленных кадров и высокая капиталоемкость инфраструктуры.

ЮАР выступает естественным хабом тераностики для Африки. Государственная компания NTP, входящая в группу Necsa, — один из крупнейших мировых производителей медицинских радиоизотопов Мо-99 и поставщик диагностических и терапевтических продуктов, включая ^{131}I и ^{177}Lu , причём на NTP приходится до трети мирового рынка Мо-99. Новый South African Isotope Facility (SAIF) на базе iThemba LABS ориентирован на выпуск высокоэнергетических терапевтических изотопов, включая альфа-эмиттеры ^{211}At и ^{225}Ac , что расширяет сырьевую базу для будущих тераностических. В стране формируется и клиническая экосистема — от специализированных центров до национальных инициатив по развитию тераностики как одного из драйверов превращения ЮАР в региональный центр ядерной медицины.

Эфиопия пока находится на стадии создания базовой инфраструктуры радиационной медицины. Специализированная тераностика (PSMA- или SSTR-ориентированная радиолигандная терапия) практически недоступна, и Эфиопия рассматривается как один из приоритетных бенефициаров будущего расширения ядерной медицины в Африке; логичными технологическими партнёрами здесь являются Россия, Индия и ЮАР, уже обладающие производством изотопов, компетенциями по тераностикам и программами подготовки кадров.

Тераностика — это не только новые молекулы, но и стратегическая инфраструктура: производственные мощности радиоизотопов, сети PET/CT-центров, регуляторные режимы и системы подготовки специалистов. Именно здесь страны БРИКС (с опорой на российскую изотопную и радиофарм-базу, клинический опыт Китая, Индии, Бразилии и инфраструктуру ЮАР) способны занять устойчивые лидирующие позиции и влиять на глобальную архитектуру прецизионной медицины.

Нanomатериалы

Нanomатериалы в здоровье человека — это функциональные структуры размером от единиц до сотен нанометров (наночастицы, нанопроволоки, нанопокрывтия, наноструктурированные имплантаты, нано- и биосенсоры), которые используются как носители лекарств, контрастные агенты, матрицы для регенерации тканей и элементы интерфейсов «клетка–устройство». В медицине они позволяют точно доставлять молекулы в нужные клетки, в том числе через гематоэнцефалический барьер, усиливать контраст при визуализации, управлять иммунным ответом и формировать каркасы для выращивания костной, хрящевой и нервной ткани. Блок

БРИКС — не только рынок с высокой потребностью, но и один из центров генерации научных публикаций и технологий.

Россия опирается на сильную школу материаловедения и физики конденсированного состояния. В НИТУ «МИСИС» действует лаборатория «Биомедицинские наноматериалы» и крупный институт биомедицинской инженерии, развивающие магнитные наночастицы для таргетной доставки и гипертермии, «умные» перевязочные материалы и наноструктурированные покрытия имплантатов; эти направления поддерживаются в рамках мегагрантов и программы «Приоритет-2030». Российские исследовательские группы создали, например, антибактериальные покрытия для медицинских имплантатов на основе наночастиц нитрида бора, серебра и оксида железа, снижающие риск инфекционных осложнений и сохраняющие биосовместимость.

В области нейротехнологий российские группы демонстрируют прототипы углеродных наноматериалов для создания гибких нейроинтерфейсов и электрической стимуляции клеток, что критично для будущих систем мозг–компьютер и лечения неврологических заболеваний. Лидеры — ФГАОУ ВО «Сколковский институт науки и технологий» (Сколтех), АНО ВО «Университет «Сириус»», ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Минздрава России и ООО «Нейрографт».

Китай сочетает масштабный госзаказ («Healthy China 2030», 14-й пятилетний план по здоровью) и мощную инфраструктуру — Национальный центр нанонауки и технологий (NCNST) и сеть университетских и академических лабораторий, работающих в наномедицине и биомедицинской инженерии. Страна лидирует по числу публикаций и патентов в области наноматериалов для лечения рака, инфекций и метаболических заболеваний; значительная часть работ — по многофункциональным наночастицам для тераностики. Функционирует полная цепочка от фундаментальных нано-исследований до промышленного масштабирования и клинических испытаний, что позволяет быстро продвигать на рынок новые нанопрепараты и наноструктурированные имплантаты. Ключевые игроки — Shanghai Best-Link Bioscience, Shanghai Fudan-Zhangjiang Bio-Pharmaceutical, Shenzhen Beike Biotechnology (Beike Nano).

Индия делает ставку на наноматериалы как инструмент решения собственных эпидемиологических вызовов (рак, туберкулёз, диабет). Программа Mission on Nano Science and Technology (Nano Mission), реализуемая Департаментом науки и технологий (DST), прямо включает медицину среди приоритетов, финансируя междисциплинарные проекты и инфраструктуру. Индийский совет медицинских исследований (ICMR) и Департамент биотехнологии (DBT) поддерживают проекты по наномедицине и разработали отдельные руководства по оценке нанофармацевтических препаратов, что облегчает регуляторный путь для нанопрепаратов местных производителей.

Сильная сторона Индии — комбинация развитого сектора дженериков и контрактного производства с растущей школой наноматериалов (IIT, IISc), что позволяет выводить более доступные по цене нанолекарства и носители для таргетной доставки, включая препараты для онкологии и нейродегенеративных заболеваний.

Бразилия выстраивает системный подход через национальную сеть лабораторий SisNANO 2.0, где значимое место отведено нанотехнологиям для здоровья, диагностике и биоматериалам. Функционирует узел SisNANO-USP, специализирующийся на наноматериалах, включая физико-химическую и биологическую (in vitro и in vivo) оценку, а также нанотоксикологию для вывода продуктов на рынок через ANVISA. Параллельно действует Бразильское общество наномедицины, которое консолидирует клиницистов и исследователей, продвигая наномедицину как отдельное направление.

ЮАР концентрирует усилия на наноматериалах для борьбы с туберкулёзом, ВИЧ и онкологией. Nanotechnology Innovation Centre (DST/Mintek NIC) и профильные университетские центры разрабатывают наночастицы золота и других материалов для диагностических наборов и наносистем доставки лекарств; эти решения уже используются как основа для point-of-care-тестов. Wits Advanced Drug Delivery Platform демонстрируют ингаляционные наносистемы, доставляющие комбинированные противотуберкулёзные схемы непосредственно в лёгкие, что потенциально снижает дозу и токсичность терапии. Создан портфель проектов по социально значимым

заболеваниям Африки и параллельное формирование «критической массы» кадров в области наномедицины, что видно по структуре финансирования и публикаций.

Эфиопия пока находится на ранней стадии развития наноматериалов для медицины: промышленной наномедицины и зарегистрированных нанолекарств нет, но идёт активная сборка академической компетенции. Ряд университетов (например, Институт биотехнологии Университета Бахр-Дар) развивают направления фармацевтических наук с акцентом на нанотехнологии, биофармацевтику и клеточно-тканевую инженерию для НИОКР в области лекарств и регенеративной медицины.

Тканевая инженерия

Тканевая инженерия — это конструкторский подход к регенерации органов и тканей человека: сочетание живых клеток (чаще стволовых), биоматериалов-«каркасов» (полимеры, гидрогели, матриксы) и биологически активных молекул, часто с использованием 3D-биопечати. Цель — восстановить кожу, кость, хрящ, сосуды, клапаны сердца, нервную ткань и другие структуры. На глобальном уровне это быстро растущий сегмент регенеративной медицины.

Россия исторически одна из первых стран, где развивались клеточные кожные эквиваленты и конструкции для лечения ожогов и хронических ран. Сейчас ключевая роль в академической части принадлежит Институту регенеративной медицины Сеченовского университета, где ведутся проекты по тканеинженерным клапанам аорты, трахее, желчным протокам, нервным проводникам и биосовместимым матриксам для сердечно-сосудистой и костной хирургии. В коммерческом сегменте заметен стартап 3D Bioprinting Solutions (лаборатория INVITRO), разрабатывающий биопринтеры, биочернила и технологии биофабрикации; компания позиционируется как специализированная лаборатория биотехнологических исследований в области 3D-биопечати тканей и органов.

Китай быстро формирует собственный рынок тканевой инженерии, сегмента 3D-биопечати и имплантируемых биоматериалов: пример — компания Medprin Regenerative Medical Technologies, разрабатывающая пористые полиуретановые и другие импланты для реконструкции черепа, сосудистых протезов и других изделий на основе тканеинженерных подходов. Китайские университеты и госпитали активно публикуют работы по регенерации кости, хряща и сосудов с использованием композитных матриксов и биопечатных конструкций, что делает КНР одним из лидеров по числу публикаций и патентов в этой области.

Индия делает ставку на доступные биоматериалы и 3D-биопечать для тканевой инженерии. В 2022 году Индийский институт наук (IISc, Бангалор) совместно с CELLINK открыл Центр 3D-биопечати, ориентированный на модели сердца, кости, хряща и рака на основе биочернил (полимер + живые клетки + факторы роста). Стартап Next Big Innovation Labs (NBIL, Бангалор) создаёт биопринтеры Trivima и платформы для печати тканевых конструкций «под заказ»; компания использует 3D-биопечать для сокращения дефицита донорских органов, а её решения уже работают в исследовательских центрах по всему миру. Pandorum Technologies в Бангалоре создаёт биоинженерные ткани — «жидкие» и «мини-» печёночные и роговичные конструкции для доклинических исследований и в перспективе терапии заболеваний печени и глаз. Сочетание развитой инженерной школы, междисциплинарности и снижение стоимости решений делают Индию привлекательной для совместной разработки доступных тканеинженерных продуктов.

В **Бразилии** ключевые компетенции по тканевой инженерии сосредоточены вокруг крупных исследовательских центров. В Национальной лаборатории бионаук CNPEM действует Tissue Engineering Technology Center (NuTET), который занимается биофабрикацией кожных эквивалентов, сосудистых и сердечных конструкций, а также 3D-биопечатной регенерацией тканей глаза и миокарда. Регулятор ANVISA параллельно обновляет рамки для продвинутых терапий и биоматериалов, что постепенно формирует в Бразилии национальный контур для клинического внедрения тканеинженерных решений.

В **ЮАР** тканевая инженерия нацелена в первую очередь на кость и соединительные ткани — с учётом высокой нагрузки травмами и ортопедической патологией. Лаборатория Bone Research Unit Университета Витватерсранда (совместное подразделение с Южно-Африканским

медико-исследовательским советом) исследует морфогенез и регенерацию кости, хряща и периодонта, разрабатывая синтетические «умные» носители для доставки костных морфогенетических белков (BMP) и роста кости в импланты. В клиническом пайплайне пока доминируют классические импланты и биоматериалы, а не полностью «живые» тканеинженерные продукты.

В домене «нейро- и биотехнологий для человека» по странам БРИКС наблюдается разделение ролей: Россия и Китай сильны в академической базе и биоматериалах; Индия — в 3D-биопечати и доступных клинико-ориентированных решениях; Бразилия и ЮАР — в специализированных нишах (сердце/сосуды, кость и травма); Эфиопия — на стадии формирования кадров и исследовательской инфраструктуры. Для России это окно возможностей: экспорт готовых технологических стеков (матрицы, биочернила, регуляторная экспертиза) и совместные центры регенеративной медицины с партнёрами БРИКС, где тканевая инженерия станет одной из ключевых платформ.

Омиксные технологии

Омикс-технологии представляют собой семейство передовых методов, которые анализируют живые организмы целиком на молекулярном уровне. Геномика изучает все гены организма, транскриптомика — активные молекулы РНК, протеомика — полный набор белков, метаболомика — малые молекулы обмена веществ. Вместо фокуса на отдельных элементах они дают полную картину биологических процессов, выявляя биомаркеры болезней, подбирая персонализированное лечение и прогнозируя риски. В странах БРИКС эти технологии переходят от научных лабораторий к коммерческим сервисам, меняя подход к профилактике и терапии.

Россия имеет развитую коммерческую экосистему, шагнув дальше научных исследований и разработок. Например, Genotek проводит NGS-анализ генома и транскриптома для редких заболеваний, MyGenetics работает с метаболомикой и международными проектами, Bioniq анализирует кровь по 145 параметрам для персонализации питания. Омикслаб создает платформы для обработки данных, Нейромикс диагностирует ментальные риски по липидам крови, ХромсистемсЛаб специализируется на хромато-масс-спектрометрии. Фокус на превентивной медицине и импортозамещении. Отмечается доступность услуг гентестирования и метаболомики для населения.

Китай лидирует глобально, обладая крупнейшей инфраструктурой для геномики, протеомики и метаболомики. BGI Genomics/MGI Tech запустили апустили AI-powered multi-omics систему для прецизионного здоровья. WuXi Biologics фокусируется на протеомике для разработки лекарств, Viva Biotech использует Cryo-EM для анализа белков, Biomarker Technologies обеспечивает полный цикл от геномики до метаболомики. Программа "Здоровый Китай 2030" поддерживает рост.

Бразилия развивает региональный хаб. Mendelics лидирует в NGS для рака и наследственных болезней, DNA GTx занимается биоинформатикой multi-omics, Biogenetika предлагает генетическое профилирование, Hilab интегрирует ИИ в молекулярную биологию.

Индия растет за счет стартапов с фокусом на геномику и персонализированную медицину. Mapyugenome предоставляет генетическое тестирование, Xcelom специализируется на транскриптомике, протеомике и биоинформатике.

В Индонезии омиксные технологии представлены пока что научными проектами. PT Genetika работает с геномикой и биоинформатикой, Corpora Science анализирует omics-данные, Biosm Indonesia — компания в области протеомики, запускает научные проекты.

ЮАР — африканский центр. CPGR предлагает полный цикл протеомики и геномики для рака и инфекций, Unisa OMICS исследует метаболомику, SAMRC Genomics применяет single-cell анализ для ВИЧ/туберкулеза [cpgr.org.za].

ОАЭ активно развивают омикс-технологии в рамках национальной стратегии по здравоохранению и цифровизации, инвестируя в геномику и персонализированную медицину. Khalifa University ведет NGS и multi-omics для онкологии, NYU Abu Dhabi изучает эпигеномику, M42/G42 сочетает ИИ с омикс-данными.

Египет и Иран ориентированы на фундаментальные исследования в геномике и протеомике, но без значительного коммерческого сектора или массовых сервисов. NRC (Египет) исследует геномику и протеомику для инфекций с NGS-пилотами.

Эфиопия без заметных проектов, фокус на БРИКС-сотрудничестве.

В рассмотренном домене «Нейро- и биотехнологии для человека» (NB) страны БРИКС демонстрируют разделение специализаций, которое определяет логичные контуры кооперации: Китай формирует наиболее комплексную платформу прецизионной медицины (геномика/омиксы → клеточно-генные решения → клиническое масштабирование), Россия концентрирует преимущества в инфраструктурно ёмких сегментах (НМИЦ, регуляторика БМКП, тераностика и ядерная медицина с опорой на радиоизотопный и радиофарм-цикл), Индия усиливает «доступные» инженерно-клинические решения (включая тканевую инженерию и биопечать), тогда как Бразилия и ЮАР развивают важные нишевые контуры, а остальные страны в основном находятся на стадии формирования компетенций и инфраструктуры.

Результаты анализа и возможности для кооперации наглядно продемонстрированы на рисунке 1.1: Китай имеет наиболее высокий уровень по большинству ключевых технологий NB; Россия устойчиво сильна в генетике/омиксах и тераностике; Индия выделяется тканевой инженерией; Эфиопия и Индонезия сохраняют низкую зрелость по большинству направлений, что делает их приоритетными рынками для переноса готовых технологических стеков.

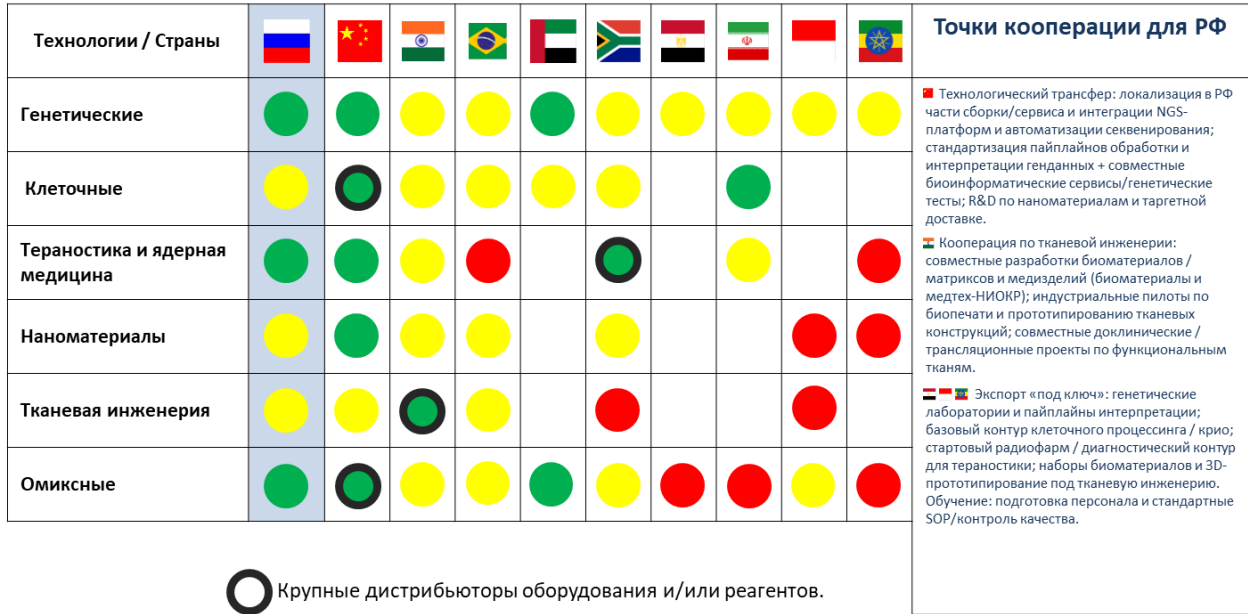


Рисунок 1.1 – Уровни владения биотехнологиями в странах БРИКС

В таблице представлены компании стран БРИКС, владеющие нейро- и биотехнологиями
Таблица 1.1 - Компании стран БРИКС, представленные в секторе нейро- и биотехнологий

Страна	Название компании	Описание
Генетические технологии		
Россия	ПАО «Артген биотех»	Публичная биотехнологическая компания, ведущая разработки и внедрение биомедицинских препаратов (вакцины, моноклональные антитела и геннотерапевтические препараты) и медицинских изделий на основе ген-активированных материалов и тест-систем для медицинской генетики. Входит в экосистему, куда также относятся сервисы биобанкинга и генетические исследования. Разработала и вывела на рынок Неоваскулген — геннотерапевтический препарат на основе плазмидной ДНК с геном VEGF165 для терапии хронической ишемии нижних конечностей (владение технологиями in vivo)

		генной терапии и плазмидных генетических конструкций)
	АО «ГЕНЕРИУМ»	Биофармацевтическая компания, специализирующаяся на геноинженерных и биотехнологических препаратах. В рамках генетических технологий развивает in vivo генную терапию: в частности, компания инициировала клиническое исследование RUS-DMD (препарат GNR-097) — рекомбинантного AAV-вектора с геном микродистрофина для лечения миодистрофии Дюшенна (владение технологиями рекомбинантных адено-ассоциированных вирусов (rAAV) и генной терапии наследственных заболеваний)
	АО «БИОКАД» (BIOCAD)	Биотехнологическая компания, производитель биосимиляров и оригинальных биопрепаратов. Развивает генную терапию гемофилии В: ANB-002 описан как генотерапевтический лекарственный препарат на основе AAV-вектора, кодирующего фактор IX для долговременной коррекции дефицита у пациентов с гемофилией В. BIOCAD проводит КИ ANB-002 и заявляет о нём как о первой российской генной терапии гемофилии В на стадии регистрации (наличие компетенций по конструированию и производству вирусных векторов для in vivo генной терапии).
	ООО НПФ «ДНК-Технология»	Ведущий разработчик и производитель оборудования, ПО и реагентов для полного технологического цикла молекулярно-генетических исследований методом ПЦР в реальном времени, а также этапов NGS и фрагментного анализа. Выпускает детектирующие термоциклеры (например, DTprime/DTlite) для качественного и количественного анализа ДНК и РНК, включая генотипирование и анализ экспрессии генов, а также широкую линейку IVD-наборов для ПЦР-диагностики, включающих комплекты для амплификации геномной ДНК человека и выявления клинически значимых генетических вариантов. Технологии: real-time ПЦР, высокопроизводительное генотипирование, поддержка этапов NGS.
	ООО «Генотек» (Genotek)	Медико-генетическая компания, одна из первых российских DTC-игроков в области персонализированной геномики. Генетическая лаборатория, предлагающая персональные генетические тесты, включая полногеномное и полноэкзомное секвенирование, панели для наследственных заболеваний, фармакогенетические тесты и онкогенетические панели. В качестве базовых технологий используются NGS (полногеномное/экзомное секвенирование), SNP-чипы и биоинформатический анализ вариантов.
	ООО «Синтол»	Производитель реактивов для ПЦР и ПЦР в реальном времени, используемых в молекулярно-генетической диагностике. Линейка наборов реагентов для ПЦР-диагностики инфекций и генетических маркеров, а также ферменты и буферы для амплификации ДНК. Технологии: классическая и real-time ПЦР, мультиплексный анализ, обеспечение лабораторий наборами для молекулярной диагностики.
	АО «Вектор-Бест»	Биотехнологическая компания, производитель комплексных решений для ИФА, real-time ПЦР и клинической биохимии. В линейке PCR-наборов RealBest представлены комплекты для широкого спектра молекулярно-генетической диагностики, включая наборы для однонуклеотидных полиморфизмов и мутаций в генах человека (панели BRCA, гемохроматоз, фармакогенетика варфарина и др.) — владение технологиями генотипирования и диагностики наследственных заболеваний и фармакогенетических маркеров методом real-time ПЦР.
Бразилия	Mendelics Análise Genômica S.A.	Лаборатория, специализирующаяся на диагностических генетических тестах для редких заболеваний и рака с использованием технологии NGS. Применяет NGS-панели, полные экзомы/геномы и CNV-анализ для клинической диагностики.
	Dasa Genômica	Геномное подразделение крупнейшей интегрированной сети здравоохранения Бразилии Dasa. Использует NGS для выполнения индивидуальных и мультигенных панелей, CGP-панелей для онкологии (CGP — панель на 478 генов с оценкой TMB и MSI), а также для тестов по репродуктивной медицине (PGT-A, PGT-SR по NGS).
	Fleury Genômica	Геномное подразделение Grupo Fleury, специализирующееся на генетических и геномных тестах. Панели по кардиологии, онкологии и др., выполняемые методом NGS с анализом CNV, SNV и INDEL. Предлагает расширенные панели наследственного рака (87 генов) и другие NGS-панели, а также CGH-array (Agilent CGH+SNP 400K) для поиска микроделеций/микродупликаций.
	GeneOne (лаборатория геномики Previlab / Dasa)	Лаборатория геномики предлагает широкий портфель генетических и геномных тестов с использованием современных молекулярных технологий (NGS, молекулярная цитогенетика и др.) для диагностики наследственных и онкологических заболеваний.
Индия	MedGenome Labs	Несколько центров, занимающихся геномикой и ген. тестированием. Центр в

	Ltd.	Бангалоре — CAP-аккредитованная лаборатория, оснащённая высокопроизводительными NGS-платформами (Illumina HiSeq X Ten, NovaSeq и др.) и предоставляющая полный цикл услуг от подготовки библиотеки до NGS-секвенирования и биоинформатического анализа. MedGenome предлагает >1300 тестов, включая WES, панели для онкологии, NIPT, панели для редких наследственных заболеваний.
	Strand Life Sciences Pvt. Ltd.	Компания в области персональной медицины и клинической геномики, более 20 лет работающая с геномными данными и биоинформатикой. В онкологии предлагает Somatic Advantage 500 Nexus (SA500) — расширенную геномную панель, объединяющую тканевое геномное профилирование, молекулярные сигнатуры и протеомные маркеры в единый отчёт, а также CancerSpot — тест раннего выявления рака на основе анализа метилирования ДНК и NGS-секвенирования фрагментов опухолевой ДНК в крови. Технологии: NGS (панели, WES), профилирование метилирования, собственные платформы интерпретации вариантов.
	Mapmygenome India Ltd.	С 2013 г. предлагает персонализированные генетические тесты Genomepatri и др. для оценки предрасположенности к заболеваниям, фармакогенетики, нутригенетики и онкорисков. Используются NGS, ПЦР и Sanger-секвенирования — технологии геномной диагностики.
	ImmunoACT Pvt. Ltd.	Развивает и производит CAR-T-клеточные терапии (генетически модифицированные Т-клетки) для лечения онкологических заболеваний; собственное WHO-сертифицированное GMP-производство для масштабируемых клеточных и генных терапий. Технология — ex vivo генная модификация иммунных клеток (векторная трансдукция) для онкогематологии.
	Intas Pharmaceuticals Ltd. (Cell & Gene Therapy Centre)	Официально декларирует программы клеточной и генной терапии, разрабатывая доступные терапевтические опции для заболеваний системы крови, опухолей, наследственных заболеваний зрения и мышечной дистрофии. Используются вирусные векторы (AAV, лентивирус и т.п.) и генная модификация клеток.
Китай	BGI Genomics Co., Ltd. (BGI Group)	Широкий спектр услуг полногеномного и таргетного NGS-секвенирования и генетических тестов для медицинских учреждений и исследовательских центров. Участие компании в проектах персонализированной медицины и использовании генетического тестирования, геномного редактирования и генной терапии для профилактики и лечения заболеваний.
	Genetron Health Co., Ltd.	Компания персонализированного подхода к онкологии, которая «покрывает полный цикл ведения пациентов с раком» и предоставляет решения для молекулярной диагностики на основе реал-тайм ПЦР, цифровой ПЦР и NGS. Разработала и вывела на рынок семикондукторную NGS-систему Genetron S5 для клинического применения в Китае и NGS-тест HCCscreen™ для раннего выявления гепатоцеллюлярной карциномы, получивший статус Breakthrough Device от FDA.
	Belief BioMed Co., Ltd. (BBM)	Один из лидеров AAV-генной терапии. Продукт BVM-H901 (dalmacogene ponparvovec) — рекомбинантная AAV-генная терапия для гемофилии В (доставка оптимизированного гена фактора IX в гепатоциты). В 2025 г. препарат стал первой одобренной в Китае генной терапией гемофилии В, разработанной локальной компанией.
ЮАР	Ampath (Ampath Genetics Laboratory)	Частная лабораторная сеть предлагает комплексный спектр генетических методик, позволяющих исследовать геном от целых хромосом до отдельных нуклеотидов, включая применение современных генетических технологий (NGS).
	Lancet Group of Laboratories (Lancet Laboratories SA)	Один из крупнейших частных холдингов лабораторной диагностики на континенте (Cerbera Lancet Africa). Специализация: Клиническая патология и диагностика. Роль в NGS: Это главный потребитель технологий NGS для клинических нужд. В их молекулярном дивизионе NGS используется рутинно: для неинвазивной пренатальной диагностики (NIPT), панелей наследственных заболеваний и типирования опухолей для подбора терапии. Это пример того, как NGS масштабируется в реальный сектор здравоохранения.
	Next Biosciences (Pty) Ltd.	Биотехнологическая компания, сфокусированная на репродуктивном здоровье и биобанкировании (стволовые клетки). Специализация: Персонализированная медицина, хранение биоматериалов, генетическое тестирование. Роль в NGS: Они являются лидерами в коммерциализации репродуктивной генетики. Используют NGS для преимплантационного генетического тестирования (PGT) эмбрионов и неинвазивных тестов для беременных. Работают в партнерстве с международными лидерами (часто лицензируют технологии).
	Afrigen Biologics &	Биотехнологическая компания в Кейптауне, известна как один из центров по

	Vaccines	разработке mRNA-вакцин в Африке. Профиль по NGS: не классический сервисный NGS-центр, но активно использует NGS и смежные геномные технологии в R&D (контроль качества, анализ последовательностей, разработка вакцин и биопрепаратов) и является важным промышленным заказчиком таких технологий
Египет	Genetic Diagnostic Center (GDC)	Молекулярно-генетический центр, чья лаборатория молекулярной генетики оказывает генетические услуги, включая врожденные заболевания, пренатальную диагностику, гематологические/онкологические нарушения (PCR-основанная диагностика, анализ наследственных мутаций и др.).
Эфиопия	EPHI	Институт общественного здравоохранения. Создали интегрированную платформу Pathogen Genomics и Bioinformatics для мониторинга и исследований. Эта платформа объединяет технологии геномного секвенирования с инструментами биоинформатики для мониторинга, отслеживания и контроля распространения инфекционных заболеваний.
Эфиопия	Armauer Hansen Research Institute (AHRI)	Создано Управление исследований в области биотехнологии и биоинформатики (BTBIRD) с целью улучшения медицинского обслуживания в Эфиопии за счет внедрения и разработки новых или усовершенствованных инструментов и методов диагностики, профилактики и лечения заболеваний с помощью различных технологий, включая геномику, биоинформатику, иммунологию и молекулярную биологию. Кроме того, BTBIRD выступает в качестве центра по передаче технологий и наращиванию потенциала в области биотехнологии, геномики и биоинформатики в университетах и исследовательских институтах Эфиопии.
Эфиопия	MRC-ET Advanced Molecular Diagnostics Laboratory	Независимая лаборатория, специализирующаяся на клиническом генетическом тестировании: пренатальная и постнатальная диагностика, наследственные онкологические и гематологические заболевания. В научной статье о внедрении клинического генетического тестирования в Эфиопии указано, что MRC-ET с 2014 г. выполняет анализ хромосомных анеуплоидий и микроделций с использованием MLPA и ограниченного набора real-time PCR-ассайев, обработав более 1300 образцов (MLPA, qPCR).
Иран/ОАЭ	Middle East Gene and Cell Therapy Company (MEGCT)	Компания активно работает в области передовых технологий клеточной и генной терапии и уже предлагает более 10 клинических показаний и терапевтических протоколов, представляя American Board of Regenerative Medicine (ABRM) в регионе.
ОАЭ	G42 Healthcare / M42 (Emirati Genome Program)	Реализует в ОАЭ крупную программу Emirati Genome Program (EGP) в сотрудничестве с Департаментом здравоохранения Абу-Даби, выполняя масштабное популяционное геномное секвенирование с использованием NGS и биоинформатики. Уже секвенировано > 800 тыс. геномов, что делает EGP одной из крупнейших популяционных геномных программ в мире, а M42/G42 — оператором инфраструктуры high-throughput WGS, клинической генетики и биобанка. Отдельно G42 Healthcare объявляла запуск >250 клинических генетических панелей, выполняемых с использованием современных NGS-платформ.
	DNA GTx Lab FZ-LLC	CAP-аккредитованная онкологическая диагностическая лаборатория в Дубае, предоставляющая анализ геномов, транскриптомов, протеомов и метаболомов и использующая AI-подходы для интерпретации данных. Это означает владение технологиями NGS для геномного и транскриптомного профилирования опухолей, а также биоинформатическими пайплайнами для онкогенетики.
	First Genomix	Лаборатория, позиционирующаяся как ведущий поставщик генетической диагностики в GCC, с фокусом на преимплантационном тестировании (PGT), диагностике редких и сложных заболеваний, пренатальном и предконцепционном скрининге, предиктивном тестировании наследственных онкозаболеваний. Использует современные технологии генетического тестирования (NGS, массивы и др.) для поддержки персонализированной медицины и репродуктивного здоровья.
Саудовская Аравия	Novo Genomics	Биотехнологическая компания, предлагающая широкий спектр генетических тестов и аналитических услуг, включая секвенирование ДНК, скрининг наследственных заболеваний, фармакогеномическое тестирование и исследовательские геномные проекты, а также биоинформатическую интерпретацию.
	Anwa Medical Laboratories	Лаборатория, предоставляющая геномные услуги: высокоуровневые сервисы геномного секвенирования, включая панели наследственного рака, профилирование солидных опухолей, женское здоровье и миелоидные панели.
	Enigma Genomics	CAP-аккредитованная генетическая лаборатория, первый провайдер медицинского генетического секвенирования напрямую потребителю, предоставляющий полный доступ к генетической информации пациента. Владение технологиями медицинского NGS-секвенирования и интерпретации генома.

Клеточные технологии		
Россия	АО «ГЕНЕРИУМ»	Производство аутологичных и аллогенных биомедицинских клеточных продуктов (БМКП). В портфеле — зарегистрированный в РФ БМКП «Изитенс», представляющий собой культивированные аутологичные хондроциты для восстановления суставного хряща (клеточная терапия повреждений хряща).
	АО «Акрис Биомед»	Специализируется на разработке и производстве клеточных продуктов на основе соматических клеток человека для медицины и исследований. Официально заявлена деятельность по созданию и выпуску клеточных препаратов; власти Москвы сообщают о запуске первой в России исследовательской площадки по производству образцов лекарств на основе соматических клеток.
	ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Минздрава России	На базе центра разработан и применяется CAR-T-клеточный препарат «Утжефра» — аутологичная терапия на основе генетически модифицированных Т-лимфоцитов пациента, предназначенная для лечения CD19-положительных В-клеточных лимфом и лейкозов. Сообщается о проведении клинических исследований и применении CAR-T-клеточной терапии в клинике центра.
	ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России	GMP-комплекс по производству продуктов на основе клеточных технологий, где разрабатываются и внедряются продукты клеточной терапии, включая CAR-T, мезенхимальные стромальные (стволовые) клетки, дендритно-клеточные вакцины, хондроциты; указано начало практического применения CAR-T-терапии для лечения CD19-положительных лимфом и лейкозов. ЦЕНТРУ ВЫДАН сертификат GMP, разрешающий производство БМКП.
	ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России (университетская клиника СамГМУ)	Университет и клиника СамГМУ разработали и запатентовали метод лечения онкогематологических заболеваний с применением NK-терапии — введения пациентам натуральных клеток-киллеров (NK-клеток), выделенных из пуповинной крови. В материалах университета и СМИ метод прямо описывается как клеточная иммунотерапия NK-клетками при множественной миеломе и других злокачественных заболеваниях системы крови; сообщается о клиническом применении у пациентов
	ПАО «Артген Биотех»	Биотехнологическая компания с портфелем новаторских платформенных разработок, внедряющая их в здравоохранение. ART-101 — препарат на основе СК (усовершенствованный Neovasculgen) для лечения ишемических заболеваний, включая хроническую ишемию нижних конечностей. Препарат стимулирует рост новых кровеносных сосудов в ишемизированных тканях.
Бразилия	Celluris Biotecnologia Ltda	Первая в Латинской Америке компания, сфокусированная на CAR-T-иммунотерапии. Разрабатывает аутологичные CAR-T-клеточные продукты для лечения онкогематологических и солидных опухолей. На сайте описана специализация на инженерии Т-клеток и платформе CAR-T-терапий.
	Cellavita Pesquisas Cientificas Ltda (Cellavita)	Специализируется на продвинутых клеточных терапиях. Описывает собственную платформу NestaCell® как аллогенную терапию на основе мезенхимальных стволовых клеток, применяемую в клинических исследованиях при болезни Хантингтона, пост-COVID-синдроме и др.
Индия	Immunoadoptive Cell Therapy Private Limited (ImmunoACT)	Пионер CAR-T-клеточной терапии в Индии. Используют CAR-T в терапии онкологических заболеваний, разработали собственную CAR-T и лентивирусную платформы. Продукт NexCAR19 — гуманизированная CD19-направленная CAR-T-терапия для рецидивирующих/рефрактерных В-клеточных лимфом и лейкозов; есть сообщения о получении маркетингового разрешения CDSCO как первой отечественной CAR-T-терапии в Индии.
	Stempeutics Research Pvt. Ltd.	Фокус на терапии на основе взрослых стволовых клеток. Продукт Stempeucel® описан как аллогенная клеточная терапия на основе мезенхимальных стволовых клеток (MSC), одобренная DCGI для коммерческого применения при критической ишемии конечностей и остеоартрите коленного сустава — первая одобренная аллогенная клеточная терапия в Индии.
Китай	JW Therapeutics (Shanghai) Co., Ltd.	Развитие, производство и коммерциализация продуктов клеточной иммунотерапии. Флагманский продукт Relmacabtagene autoleucel (Carteysa®) — аутологичная анти-CD19 CAR-T-клеточная иммунотерапия, одобренная NMPA для лечения различных В-клеточных лимфом (LBCL, FL, MCL).

	IASO Biotherapeutics Co., Ltd. (IASO Bio)	Разработка новых клеточных терапий, собственных платформ для полностью человеческих антител и CAR-T. В портфеле — Equescabtagene Autoleucel (Fucaso), человеческая BCMA-CAR-T-клеточная терапия, одобренная NMPA в 2023 г. для рецидивирующей/рефрактерной множественной миеломы, и ST120 — человеческий дуальный CD19/CD22 CAR-T-кандидат, а также другие аутологичные и аллогенные CAR-T-продукты.
ОАЭ	Abu Dhabi Stem Cells Center (ADSCC)	Флагманский центр по клеточным технологиям и трансплантации в ОАЭ, один из самых технологичных в регионе. Реализует клинические программы по трансплантации стволовых клеток (в т.ч. гемопоэтических) при онкогематологических и аутоиммунных заболеваниях; имеет собственные лаборатории по выделению, культивированию и криоконсервации стволовых и иммунных клеток; осуществляет НИОКР в области клеточной терапии, регенеративной медицины, в т.ч. пилотные проекты по CAR-T/другим продвинутым терапиям (в сотрудничестве с G42/M42 и госпиталями Абу-Даби); принимает участие в национальных и региональных клинических исследованиях по клеточным и генным подходам
	Dubai Cord Blood and Research Center (DCRC)	Подразделение Dubai Health Authority. Первый государственный центр в ОАЭ, специализирующийся на заготовке, процессинге и хранении стволовых клеток из пуповинной крови и плаценты. Чем занимается: забор, выделение и криоконсервация гемопоэтических стволовых клеток из пуповинной крови и ткани пуповины; создание и поддержание банка стволовых клеток для аутологичных и аллогенных трансплантаций; НИР в области применения пуповинных стволовых клеток при наследственных, онкогематологических и некоторых редких заболеваниях; методическое сопровождение роддомов и клиник Дубая по вопросам cord blood-банкинга
	CellSave Arabia	Крупнейший частный банк стволовых клеток. Главный игрок в секторе биобанкинга в регионе MENA. Чем занимается: оказывает услуги для семей по забору, транспортировке, выделению и долгосрочному хранению стволовых клеток (гемопоэтических и мезенхимальных); работает с аккредитованными лабораториями обработки клеточного материала (GMP-уровень); консультирует семьи по возможным будущим применениям хранимых стволовых клеток (онкогематология, наследственные болезни, регенеративные подходы); сотрудничество с госпиталями и акушерскими клиниками ОАЭ, Саудовской Аравии и др. стран региона.
	Bioscience Institute Middle East	Биомедицинский институт специализируется на геномике для секвенирования циркулирующей ДНК, культивирования мезенхимальных стволовых клеток и экзосом для разработки передовых персонализированных методов лечения, имеющих решающее значение для борьбы с дегенеративными процессами, вызванными старением или патологическими состояниями. Процедуры экстракции, культивирования и хранения стволовых клеток и экзосом проводятся в лабораториях в Дубае и Сан-Марино, а геномный отдел — в Риме (как дочерняя компания Римского университета «Тор Вергата»).
Иран	Royan Stem Cell Technology Co. / Royan Institute	Флагман иранской школы репродуктивной биологии и стволовых клеток, сочетающий НИОКР, клинику и коммерческие сервисы. Чем занимается (в части клеточных технологий): исследование и клиническое использование эмбриональных, мезенхимальных и гемопоэтических стволовых клеток; собственный банк пуповинной крови и стволовых клеток (криоконсервация для аутологичных/аллогенных применений); производство исследовательских и, частично, клинико-ориентированных клеточных продуктов (MSC, клеточные линии) и реагентов; участие в клинических исследованиях по клеточной терапии при сердечно-сосудистых, офтальмологических, неврологических и ортопедических патологиях.
	CellTech Pharmed	Первая и одна из ключевых иранских компаний, специализирующихся на промышленном производстве клеточных препаратов (advanced therapy medicinal products, ATMP) по стандартам GMP. Входит в крупный фарм-кластер (Barekat / Pharmed). Чем занимается: разработка и производство аутологичных и аллогенных клеточных продуктов (фибробласты, хондроциты, мезенхимальные клетки и др.) для: регенерации кожи и мягких тканей, восстановления суставного хряща и ортопедии, некоторых офтальмологических и дерматологических показаний; создание и валидация производственных технологий: GMP-лаборатории, культивирование, контроль качества, криоконсервация; контрактное производство и трансфер технологий для клинических центров и фарм-партнёров (в т.ч. в области клеточной терапии и комбинированных продуктов). Они выпускают официально

	зарегистрированные продукты: Mesestrocell — аллогенные мезенхимальные стволовые клетки для лечения остеоартрита. RenuDerm — аутологичные клетки для лечения рубцов и язв. Recolorcell — клеточная терапия для лечения витилиго.
CinnaGen Co.	Крупнейшая биотехнологическая компания Ирана и один из лидеров MENA по биосимильярам и рекомбинантным биопрепаратам, построенным на основе клеточных линий. Чем занимается (в контексте клеточных технологий): разработка и промышленное культивирование млекопитающих клеточных линий (обычно CHO) для производства моноклональных антител и рекомбинантных белков; полный цикл биопроцессинга: upstream (клеточная культура), downstream (очистка, формуляция), контроль качества; НИОКР и инвестиции в новые платформы клеточного/генного лечения (cell & gene), включая использование продвинутых клеточных линий и векторных систем; важный технологический партнёр для совместных проектов по масштабированию клеточных процессов (в т.ч. потенциально — для внешних рынков Ближнего Востока).
AryoGen Pharmed	Крупная иранская биофарма, специализирующаяся на моноклональных антителах и рекомбинантных белках для онкологии, аутоиммунных и других заболеваний. Чем занимается (в контексте клеточных технологий): разработка и поддержание высокопродуктивных клеточных линий млекопитающих (в т.ч. CHO) для производства МАБ-препаратов; масштабный биореакторный парк, технологии культивирования и оптимизации клеточных процессов; НИОКР в области иммунотерапии, где клеточные технологии (подбор, инженерия тестирование клеточных линий) являются ключевым элементом; потенциальный партнёр для проектов по локализации производства биопрепаратов, биореакторных платформ и сопутствующих клеточных технологий
Arya Mabna Tashkhis Co.	Частная иранская компания, хорошо известная в научно-диагностическом сегменте как поставщик реагентов и расходников для клеточных культур и молекулярной диагностики. Чем занимается: производство и дистрибуция питательных сред, сывороток, буферов и других реагентов для культивирования клеточных линий (в т.ч. стволовых); наборы и реагенты для иммуноцитохимии, проточной цитометрии, молекулярной диагностики; обеспечение исследовательских лабораторий и медицинских центров базовыми компонентами для клеточных и молекулярных экспериментов; важное звено в инфраструктуре, без которого большая часть клеточных исследований и малых компаний по клеточным технологиям в Иране фактически не смогли бы работать.
Pasteur Institute of Iran	Институт, насчитывающий более 1300 сотрудников и имеющий пять филиалов по всей стране, является ведущим учреждением в Иране по разработке и производству вакцин, биофармацевтических препаратов и диагностических наборов. Он также функционирует как крупный центр медицинских исследований, предоставляя специализированные медицинские услуги через диагностические лаборатории и национальные референс-лаборатории для борьбы с инфекционными заболеваниями в Иране и соседних странах. Кроме того, Институт предлагает широкий спектр докторских программ и образовательных инициатив, охватывающих медицинскую и фармацевтическую биотехнологию, микробиологию и системную биологию. Потенциальный партнёр для проектов, связанных с клеточными линиями, производством вакцин/векторов и QC-методами.
National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB)	Головной национальный институт Ирана по генетической инженерии и биотехнологии, объединяющий фундаментальные и прикладные исследования, включая клеточные технологии. Чем занимается: разработка и инженерия микробных и млекопитающих клеточных линий для производства рекомбинантных белков, антител, ферментов; исследования и проекты в области стволовых клеток, регенеративной медицины и тканевой инженерии (часто в связке с клиническими центрами); трансфер технологий и поддержка knowledge-based компаний (spin-off и индустриальные партнёры по клеточным и геномным технологиям); может выступать как научно-технологический партнёр для совместных международных проектов по клеточным линиям, скринингу, инженерии клеток. Деятельность NIGEB осуществляется тремя подразделениями, возглавляющими девять отделов. Институт сельскохозяйственной биотехнологии (IAB) руководит отделами биопродуктов растений, молекулярной биотехнологии растений и биотехнологии животных; Институт промышленной и экологической биотехнологии (IEB) управляет отделами биопроцессной инженерии, системной биотехнологии, а также энергетической и экологической биотехнологии; и Институт медицинской биотехнологии (IMB) руководит отделами медицинской генетики, стволовых клеток и молекулярной медицины. Каждый институт или отдел занимается

		высокоинновационными и новаторскими исследованиями в различных областях биотехнологии.
ЮАР	Next Biosciences / Netcells	Крупнейшая частная компания ЮАР в области банкинга стволовых клеток и биобанкинга. Услуги: забор, выделение и криоконсервация стволовых клеток из пуповинной крови и ткани пуповины; хранение аутологичных/семейных стволовых клеток для возможного будущего использования (онкогематология, наследственные заболевания, регенеративные подходы); биобанкинг других типов биообразцов. R&D: участие в исследованиях по применению мезенхимальных и гемопоэтических стволовых клеток; сотрудничество с клиниками и университетами в ЮАР. Они производят уникальные продукты из амниотической оболочки плаценты, которые используются как «натуральный пластырь» для лечения сложных ран в офтальмологии и хирургии. Являются крупным провайдером репродуктивных генетических тестов.
	Afrigen Biologics and Vaccines	Биотехнологическая компания из Кейптауна, известна как координатор mRNA Technology Transfer Hub BO3. Клеточные технологии: разработка и масштабирование биопроцессов для биопрепаратов и вакцин, основанных на клеточных линиях и рекомбинантных технологиях; построение GMP-инфраструктуры, включающей культивирование клеток, производство белков и наноносителей; сотрудничество с международными партнёрами (BO3, Medicines Patent Pool и др.) по локализации передовых платформ (в т.ч. mRNA, требующих развитой клеточной и биопроцессной экспертизы). В перспективе — одна из ключевых площадок региона для cell-based биофармацевтики
	Biovac	Биофармацевтическая компания, базирующаяся в Кейптауне, которая возникла в результате партнерства, заключенного с правительством Южной Африки в 2003 году с целью создания местных мощностей по производству вакцин для обеспечения национальной системы здравоохранения и безопасности. Один из ключевых игроков Африки по производству вакцин, публично-частное партнёрство с правительством ЮАР. Клеточные технологии: использование клеточных линий животных и человека (например, Vero, CHO и др.) для производства вакцин и антигенов; разработка и оптимизация процессов культивирования в биореакторах, downstream-очистки и контроля качества; участие в трансфере технологий от глобальных фармкомпаний (Sanofi, Pfizer и др.), в т.ч. по вакцинам, производимым на клеточных линиях. Фактически — национальный центр компетенций по промышленной клеточной культуре для вакцин
	CSIR — Biomanufacturing Industry Development Centre (BIDC)	Главный прикладной НИИ ЮАР; BIDC — его подразделение, поддерживающее биопроизводство. Клеточные технологии: инкубация и сопровождение проектов, использующих клеточные линии (микробные и млекопитающих) для производства белков, ферментов, биополимеров и др.; технологический аудит и масштабирование клеточных процессов от лабораторного до пилотного уровня; предоставление инфраструктуры (биореакторы, лаборатории), что делает BIDC фактическим «хабом» по клеточным и биопроцессным технологиям для малых/средних биотех-компаний
Тераностика и ядерная медицина		
Россия	ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИЦ «Онкотераностика» Томского политеха совместно с НИИ онкологии Томского НИМЦ)	Разработка радиофармпрепаратов для ядерной медицины. Разработали, запатентовали и прошли первую фазу пилотных клинических исследований первой в России тераностической пары — оригинальных радиофармпрепаратов для диагностики и терапии рака предстательной железы. В публикациях прямо используется термин «тераностическая пара» и подчёркивается, что оба препарата образуют связку: один для высокочувствительной радионуклидной диагностики, второй — для таргетной радионуклидной терапии.
	ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Минздрава РФ	Разработка и внедрение в практику современных радиоизотопных методик, новых радиофармпрепаратов и программ для обработки диагностической информации. Центр владеет комплексом технологий радионуклидной диагностики и терапии, включая разработку и клиническое внедрение радиофармпрепаратов, применяемых в тераностических схемах (ПЭТ/ОФЭКТ-визуализация + радионуклидная терапия).

	(НИО ядерной медицины и тераностики)	
	Российский научный центр радиологии и хирургических технологий ФМБА	В клинике ядерной медицины начато применение нового для отечественной клинической практики метода лечения больных раком предстательной железы с помощью Лютеция-177-ПСМА.
	АО «РТЗ» (Росатом Технологии здоровья)	Один из трёх мировых поставщиков актиния-225, продвигает свои радиофармпрепараты (включая ^{18}F -ФДГ, ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -генераторы и др.) на внешние рынки, строя центры ядерной медицины и производства РФП в партнёрских странах.
Китай	Norroy Bioscience Co., Ltd.	R&D-ориентированная биотех-компания с фокусом на РФП тераностику. Развивает PSMA-таргетный тераностический радиофармпрепарат $^{68}\text{Ga}/^{177}\text{Lu}$ -NYM032 для рака предстательной железы: диагностический агент ^{68}Ga -NYM032 для ПЭТ/КТ-визуализации и терапевтический ^{177}Lu -NYM032 для радиолигандной терапии.
	Laboratory of Clinical Nuclear Medicine, West China Hospital, Sichuan University	Лаборатория ядерной медицины провинции Сычуань — один из ведущих в Китае центров ядерной медицины, созданный на базе отделения, работающего с 1958 года; специализируется на тераностиках при онкологических, нейропсихиатрических и сердечно-сосудистых заболеваниях, разработке и внедрении медицинских изотопов и радиофармпрепаратов, располагает собственным циклотроном, радиохимическими лабораториями и платформами microPET/CT и in vivo/in vitro моделями для трансляционных исследований.
Бразилия	SBMN	Бразильское общество ядерной медицины совместно с международным фондом ICPO подписали соглашение о создании сети аккредитованных Clinical Theranostics Centers of Excellence, с едиными международными стандартами, сертифицированным обучением и аудитом качества
Индия	Tata Memorial Hospital	В структуре работает крупное отделение ядерной медицины с тераностической программой: радиойодтерапия рака щитовидной железы, PSMA-радиолигандная терапия при раке простаты, PRRT при нейроэндокринных опухолях и др., а также Yttrium-based TARE; заявлено >300 пациентов/год на таргетных радионуклидных терапиях и наличие 41-кочной радиационно-безопасной палаты (therapy ward).
	AIIMS (All India Institute of Medical Sciences, New Delhi)	Развивает теранотику на базе отделения ядерной медицины (гибридная визуализация SPECT/CT и PET/CT; собственная циклотронная/радиохимическая инфраструктура указана на сайте отдела), и ведёт клинические программы радионуклидной терапии; в рецензируемой публикации JNM прямо описана серия пациентов, получавших PRRT ^{177}Lu -DOTATATE в Department of Nuclear Medicine AIIMS (New Delhi), что подтверждает практическое применение тераностического подхода (диагностика + таргетная радиолигандная терапия) на площадке института.
	Apollo Hospitals	Развивает теранотику в онкологии, описана типовая тераностическая связка для нейроэндокринных опухолей: диагностика Ga-68 DOTATOC PET, затем терапия с заменой радионуклида на Lu-177 или Y-90 для таргетного воздействия на опухолевые клетки (через SSTR2).
	Mahajan Imaging & Lab	Предоставляет тераностические услуги в ядерной медицине, включая Lu-177 PSMA-терапию при распространённом раке простаты; на странице сервиса прямо описаны связка PSMA-PET для выявления очагов и последующая таргетная радиолигандная терапия Lu-177-PSMA как персонализированный (theranostics) подход.
Иран	Pars Isotope Company	Крупнейший производитель радиофармпрепаратов и радиофармкитов в Иране. Отдельный раздел тераностических РФП, которые готовятся путём мечення Lu-177 и Re-188 (^{177}Lu -PSMA и PARS- ^{177}Lu -PSMA) для лечения метастатического рака простаты. Препараты ^{177}Lu -DOTATATE / PARS-LUTOTATE описаны как тераностические радиофармпрепараты для лечения и одновременного диагностического сопровождения пациентов с нейроэндокринными опухолями (PRRT).
ЮАР	NTP Radioisotopes SOC Ltd (NTP)	Один из крупнейших мировых производителей медицинских радиоизотопов Mo-99 и поставщик диагностических и терапевтических продуктов, включая ^{131}I и ^{177}Lu , на NTP приходится до трети мирового рынка Mo-99.
	South African Isotope Facility (SAIF)	Национальная инфраструктура по производству медрдиоизотопов при NRF-iThemba LABS. Ориентированы на выпуск высокоэнергетических терапевтических изотопов, включая альфа-эмиттеры ^{211}At и ^{225}Ac , что расширяет сырьевую базу для будущих тераностических препаратов

Нanomатериалы		
Россия	ФГАОУ ВО «Сколковский институт науки и технологий» (Сколтех)	Разрабатывает универсальный контрастный агент на основе нанокапель: нанокапли с красителем индоцианином зелёным и частицами оксида железа (магнетита), полученные методом послыдного осаждения, служат многофункциональным контрастом для УЗИ, МРТ и оптоакустической визуализации головного мозга. Это контрастное нановещество и нанокапли используются как чувствительные к ультразвуку частицы для открытия гематоэнцефалического барьера и доставки контрастных/лечебных веществ в мозг. Это пример наноматериала для диагностики и потенциальной терапии ЦНС.
	АНО ВО «Университет «Сириус»»	Разрабатывают наночастицы на основе альбумина и маннозы, способные адресно доставлять малые РНК (siRNA/miRNA) в опухоли. Эти наночастицы нацелены на макрофаги в опухолевом микроокружении и предназначены для «перепрограммирования» иммунных клеток с целью подавления фермента катепсина В и торможения роста опухоли — пример терапевтического наноматериала для онкологии.
	ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Минздрава России	Научно-исследовательская лаборатория нанотехнологий (Institute of Experimental Medicine) работает над направленной доставкой лекарств в повреждённые ткани (миокард, скелетная мышца) с использованием органических и неорганических наночастиц. Лаборатория исследует различные наночастицы как носители лекарств, оценивает их токсичность, выведение и эффект доставки, а также имеет патент на «Cardioprotection method» на основе этих разработок. Платформа наноматериалов для таргетной терапии сердечно-сосудистых заболеваний.
	ООО «Нейрографт»	Разработали нанопротез NeuroFibe — устройство из ультратонких нейлоновых волокон, которые имитируют структуру нервной ткани, для восстановления поврежденных нервов.
Китай	Shanghai Best-Link Bioscience Co., Ltd.	Разработка новых нано-конъюгированных препаратов и прицельные платформы доставки нано-лекарств для терапии рака. Компания использует передовые конъюгационные технологии и нанотехнологии, чтобы создавать инновационные препараты для прецизионного лечения рака и иммунотерапии опухолей. Разработана нано-конъюгатная система, направленная на микроокружение опухоли (NMPDC), оптимизированная по наноразмерам для преодоления барьеров микроокружения опухоли и улучшения проникновения лекарств.
	Shanghai Fudan-Zhangjiang Bio-Pharmaceutical Co., Ltd.	Разработка R&D платформы для нано-лекарств, состоящей из двух частей: липиды и наночастицы на основе альбумина. Платформа направлена на улучшение фармакокинетики и таргетинга противоопухолевых препаратов.
	Shenzhen Beike Biotechnology Co., Ltd. (Beike Nano)	Платформа био-наноматериалов для медицины. Ключевые направления: биологические наноматериалы, система нанодоставки Beike, наноферментный гидрогель, наносферы, а также «BKNANO-MEDICAL PLATFORM» для наномедицины и медицинской визуализации. Фокус на доклинических исследованиях био-наноматериалов. Компания предоставляет CRO-услуги по разработке, фармацевтическим исследованиям и доклиническим исследованиям для глобальных разработчиков лекарств и научных организаций.
	National Center for Nanoscience and Technology (NCNST)	Национальный центр нанонауки и технологий. Государственный исследовательский центр CAS, совместно созданный с Министерством образования КНР; ведёт фундаментальные и прикладные исследования и развивает публичную открыто-доступную платформу/сервисы (в т.ч. наностандарты/испытания, нанофабрикация и др.) для поддержки работ с наноматериалами и нанотехнологиями.
ЮАР	Nanotechnology Innovation Centre (DST/Mintek NIC)	Национальная инициатива/центр при Mintek, ориентированный на трансфер нанотехнологий в «рыночные» решения в тематике здоровья (а также связанные направления), включая разработку и внедрение нанотехнологических устройств/прототипов; в Mintek отдельно описана нанотехнологическая программа синтеза материалов для применений в здравоохранении и водных/сточных технологиях, включая функционализированные наночастицы золота для point-of-care диагностики
	Wits Advanced Drug Delivery Platform (WADDP , University of the Witwatersrand)	Научная платформа Wits University; признанный ANDI Center of Excellence в Nanomedicine & Advanced Drug Delivery; выполняет трансляционные разработки в наномедицине (targeted nanosystems, nanovector technologies), функциональных/стимул-чувствительных биоматериалах и др. (в т.ч. направления theranostics). Демонстрируют ингаляционные наносистемы, доставляющие комбинированные противотуберкулёзные схемы непосредственно в лёгкие.

Бразилия	Nanovetores Tecnologia S.A.	Разрабатывает активные ингредиенты на основе нанотехнологий; компания специализируется на инкапсуляции активных веществ с использованием нанотехнологий для косметики и фармацевтики. Создаются биосовместимые наночастицы для управляемого высвобождения активов и повышения эффективности и безопасности продуктов для кожи и здоровья.
	SisNANO 2.0 (Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias)	Сеть лабораторий. Функционирует узел SisNANO-USP, специализирующийся на наноматериалах, включая физико-химическую и биологическую (in vitro и in vivo) оценку, а также нанотоксикологию для вывода продуктов на рынок через ANVISA.
Эфиопия	Institute of Biotechnology, Bahir Dar University	Институт биотехнологии Университета Бахр-Дар. Развивают направления фармацевтических наук с акцентом на нанотехнологии, биофармацевтику и клеточно-тканевую инженерию для НИОКР в области лекарств и регенеративной медицины
Индия	SIAMAF Healthcare	Бангалорский стартап в области онкологической тераностики, развивает магнитные наноматериалы (магнитные наночастицы и датчики) для радиационно-свободной и более доступной диагностики и терапии рака; разрабатывает устройства и наноматериалы для стадирования опухоли, локализации очагов, гипертермии и визуализации, ориентируясь на замену радиоактивных изотопов и агрессивной химии в онкодиагностике.
	United Biotech Pvt. Ltd.	WHO-GMP-сертифицированная фармкомпания, один из индийских производителей онкологических инъекционных форм; развивает и выводит на рынок липосомальные лекарственные формы (в т.ч. липосомальный доксорубин) и подчёркивает использование нанотехнологий и липосомальных наноносителей как основы для «next-gen» систем доставки противоопухолевых препаратов.
	Fortune Pharmaceuticals Pvt. Ltd.	Контрактный производитель липосомальных формуляций и биодоступных нутрицевтиков; разрабатывает и выпускает линейку продуктов, в которых активные вещества инкапсулируются в липосомы (наноразмерные липидные везикулы), что используется для улучшения абсорбции и эффективности (в т.ч. липосомальные формы железа, коэнзима Q10, глутатиона, куркумина и др.).
Тканевая инженерия		
Россия	АО «Гистографт»	Биотехнологическая компания, резидент «Сколково», специализируется на ген-активированных остеопластических материалах для регенерации костной и мягких тканей. Создали технологическую платформу в области материалов с генными конструкциями и первый продукт — ген-активированный остеопластический материал «Гистографт», зарегистрированный в РФ в 2019 г. как имплантируемое медизделие для костной пластики; это материал на основе гранул октакальцийфосфата с молекулами плазмидной ДНК VEGF для стимуляции ангиогенеза и регенерации костной ткани (ген-тканеинженерный подход к восстановлению костей). Входит в структуру ПАО «Артген биотех»
	ООО «ЗД Биопринтинг Солюшенс»	Лаборатория биотехнологических исследований, созданная группой INVITRO, специализируется на 3D-биопечати тканей и органов. Разрабатывает и производит биопринтеры и материалы для 3D-биопечати и инновационные технологии в области биофабрикации, то есть создания тканеинженерных конструктов.
	ООО «Тканевая Инженерия и Графты»	"Научно-производственная компания, ориентированная на разработку и производство материалов в области тканевой инженерии для научных лабораторий и исследовательских центров. Производят и разрабатывают: элементы сердечно-сосудистой системы (участки сосудистого русла, сердечные клапаны), опорно-двигательного аппарата (для воспроизведения хрящевой и костной ткани, элементов связочного аппарата), противоспаечные и противовоспалительные мембраны, доставка лекарственных средств, скэффолды и матрицы для тканевой инженерии мягких тканей
	АО «БИОМИР сервис»	Современное наукоориентированное предприятие, выпускающее инновационную продукцию, предназначенную для оказания высокотехнологичной медицинской помощи, в том числе для тканевой инженерии и регенеративной медицины. Разраотка — СФЕРОгель — биоактивный гидрогелевый миметик внеклеточного матрикса; восполняет и замещает повреждённые ткани.
	Институт регенеративной медицины Сеченовского университета	Институт, развивающий регенеративную медицину и тканевую инженерию: клеточные технологии, биоматериалы/скаффолды и 3D-биопечать; ведёт прикладные НИОКР по выращиванию тканей (в т.ч. разработка автоматизированных 3D-биореакторов для культивирования тканевых конструкций).

Индия	Pandorum Technologies Private Limited	Компания разрабатывает биоинженерные ткани: в продуктовой линейке указаны bioengineered cornea (биоинженерная роговица) и 3D human liver organoids (3D-органомы человеческой печени), используемые как для терапевтических целей (регенерация роговицы), так и как модели для доклинического скрининга лекарств. Технологии создания функциональных 3D-тканей на основе клеток, гидрогелей и модификаторов с использованием 3D-биопринтинга и самоорганизации для формирования тканеподобной микроархитектуры
	Celutron Innovations Private Limited	Специализируется в области регенеративной медицины и инженерии тканей, нацеленных на разработку органов/тканей, которые являются пациент-специфичными и биоизготовленными для имитации человеческих органов. Описаны конкретные направления: биомембраны, костные каркасы и моделирование мягких тканей и кости, что соответствует тканеинженерным конструкциям для исследований и потенциальных терапевтических применений.
	Indian Institute of Science (IISc, Bengaluru) + CELLINK (Centre of Excellence for 3D Bioprinting)	Центр компетенций по 3D-биопринтингу на базе IISc (BSSE), созданный совместно с CELLINK; предоставляет доступ к биопринтерам и инфраструктуре биофабрикации для проектов в тканевой инженерии, регенеративной медицине и создании 3D-клеточных моделей для исследований/скрининга.
	Next Big Innovation Labs (NBIL, Bengaluru)	Компания-разработчик биопринтинговых решений (в т.ч. линейка биопринтеров Trivima) и кастомных платформ биопринтинга/биофабрикации для задач регенеративной медицины и тканевой инженерии (создание моделей тканей и прикладных решений под исследовательские/медицинские сценарии). Компания использует 3D-биопринтер для сокращения дефицита донорских органов, а её решения уже работают в исследовательских центрах по всему миру
	Pandorum Technologies	Биотехнологическая компания в области тканевой инженерии и регенеративной медицины; развивает тканеинженерные/биоматериальные продукты, включая «liquid cornea» Kuragenx для регенерации роговицы, и расширяет платформу на другие ткани (печень/лёгкие и др.) с фокусом на клиническое продвижение.
Бразилия	Biocelltis Biotecnologia Ltda. (Biocelltis)	Специализируется на биоматериалах, регенеративной медицине и инженерии человеческих клеток и тканей. Комбинация собственного биоматериала компании и экспертизы команды позволяет создавать в лаборатории множество платформ тканевой инженерии, то есть речь идёт о тканеинженерных конструктах (включая модели тканей и эквиваленты кожи) для регенерации и тестирования
	3D Biotechnology Solutions Ltda. (3DBS)	Стартап, разрабатывающий решения для биофабрикации тканей. В лабораториях 3DBS разрабатываются решения для биоизготовления человеческих и животных тканей с использованием собственных технологий 3D-биопринтинга, при поддержке фонда FAPESP. В качестве результатов описаны модели искусственной кожи, барьера кишечника и печени, а также мембраны для регенерации костей и заживления ран, что является прямым примером тканеинженерных конструктов для медицины и фармы.
	CNPq / LNBio — Tissue Engineering Technology Center (NuTET)	NuTET разрабатывает решения в тканевой инженерии для регенерации тканей человека; применяет 3D-биопринтер, микрофизиологические системы и 3D-клеточные культуры, работает от формуляции биоматериалов до создания орган-подобных моделей (в т.ч. платформы для оценки безопасности/эффективности соединений).
Китай	Medprin Regenerative Medical Technologies Co., Ltd. (MEDPRIN)	Производитель имплантируемых медизделий с фокусом на тканерегенеративные имплантаты; позиционирует компетенции в «medical printing», R&D и производстве высокотехнологичных устройств (в т.ч. решения для закрытия/реконструкции костно-черепных и нейрохирургических применений), опираясь на аддитивное производство и биологическую 3D-печать.
ЮАР	University of the Witwatersrand (Wits) — Bone Research Unit / Bone Research Laboratory	Исследовательское подразделение Wits (совместно с SA Medical Research Council), работающее на стыке регенерации костной/хрящевой ткани и тканевой инженерии: изучение механизмов морфогенеза и регенерации, разработка терапевтических стратегий восстановления костных дефектов, включая направления BMP/TGF-β и создание «умных» биоматериалов/матриц-носителей для индукции остеогенеза.

Омиксные технологии		
Россия	Генотек (Genotek)	Предлагает NGS-анализ генома, транскриптома, протеома для диагностики редких болезней и персонализированной медицины.
	MyGenetics	Развивают омикс-платформы для генетического тестирования и метаболомики, сотрудничают с международными проектами.
	ООО «БиоТех Решения»	Фокус на протеомике и метаболомике в клинических исследованиях.
	ООО «Байоник-Медси»	Спектр услуг, направленных на персонализацию микронутриентов на основе клинических данных. Анализ крови по 50-145 параметрам для обнаружения дефицитов.
	ООО «ОмиксЛаб»	Система нормализации и сравнения омиксных данных, создание единой платформы для работы с экспрессионными данными.
	ООО «Нейромикс»	Инновационная омиксная технология ранней диагностики риска ментальных заболеваний на основе анализа липидома крови.
	ООО «ХромсистемсЛаб»	Научно-лабораторный комплекс, специализирующийся на хромато-масс-спектрометрии для высокоточной диагностики
Китай	BGI Genomics / MGI Tech	Мировой лидер в омикс-технологиях, производит оборудование для секвенирования, анализа single-cell, транскриптомики и мультиомику; запустили AI-powered multi-omics систему для прецизионного здоровья, лидируют в NGS-центрах Азии.
	WuXi Biologics / WuXi AppTec (Сюйчэн/Шанхай)	Специализируется на протеомике, масс-спектрометрии, анализе белков и гликопротеинов для биофармы и drug discovery.
	Viva Biotech (Шанхай)	Интегрированные платформы для structure-based drug R&D с омикс-анализом (Cryo-EM, X-ray для протеомики).
	Biomarker Technologies (BMKGENE)	Специализируется на комплексных multi-omics решениях: NGS, third-generation sequencing, single-cell omics, геномика, транскриптомика, эпигенетика, протеомика и метаболомика.
Бразилия	Mendelics Análise Genômica (Сан-Паулу)	Лидер в области секвенирования следующего поколения (NGS) и геномного анализа в Латинской Америке, предоставляет генетические тесты для диагностики рака и наследственных заболеваний.
	DNA GTx Bioinformatics (Бразилия, США, ОАЭ)	Компания, специализирующаяся на биоинформатике и компьютерном анализе данных в геномике, метагеномике, транскриптомике и протеомике, поддерживает применение омикс-данных для персонализированной медицины.
	Biogenetika (Флорианополис)	Фокусируется на генетическом профилировании, персонализированном здоровье и благополучии на основе омикс-данных.
	Hilab (Куритиба)	HealthTech компания, использующая искусственный интеллект и машинное обучение в диагностике и молекулярной биологии, активно развивает исследования и инновации в омикс-технологиях.
Индия	Mapmygenome	Предоставляет услуги по генетическому тестированию, в том числе омикс-технологии.
	Pune-based Xcelom	Специализируется на транскриптомике, протеомике и метаболомике, а также биоинформатике
Индонезия	PT Genetika Science Indonesia	Предлагает услуги и решение в области биоинформатики, геномики.
	Corpora Science	Исследовательский центр, предоставляющий услуги по анализу омикс данных.
	Biosm Indonesia	Биотехнологическая компания с решениями для белкового анализа и протеомики, обеспечивает лаборатории и научные проекты.
ЮАР	Centre for Proteomic & Genomic Research (CPGR, Cape Town)	Разработки полного цикла омикс-услуг, включая высокоэффективную протеомику (TMT-MS), геномику (Illumina NovaSeq), метаболомику и интеграцию multi-omics для исследований рака, инфекций и прецизионной медицины.
	Unisa OMICS Research Group (University of South Africa)	Исследования метаболомики и протеомики в фитохимии, разработка биомаркеров для здоровья и устойчивого сельского хозяйства.

	SAMRC Genomics Centre (South African Medical Research Council)	SAMRC Genomics Centre специализируется на геномном секвенировании, анализе отдельных клеток, эпигенетике и метагеномике. Они используют эти омикс-технологии для изучения заболеваний, включая туберкулез и ВИЧ.
ОАЭ	Khalifa University	Центр геномики и биоинформатики с NGS, транскриптомикой и multi-omics для прецизионной медицины и онкологии.
	NYU Abu Dhabi Genomics Core (в составе CGSB)	Проводит исследования геномики, эпигеномики и метаболомики для популяционного здоровья, включая эмиратские геномы, нейробиологию и устойчивость растений.
	G42 Healthcare и Mubadala Health	Компании объединились в одну инновационную компанию M42, которая интегрирует технологии ИИ и омикс-данные для диагностики и прецизионной медицины.
Египет	National Research Centre (NRC, Каир)	Исследования геномики, протеомики и метаболомики для диагностики инфекций (гепатит, шистосомоз); публикации по биосенсорам и NGS для патогенов.
Иран	Tehran University of Medical Sciences (TUMS)	Лаборатории протеомики и метаболомики для онкологии и метаболических расстройств; single-cell омикс на ограниченном оборудовании (Illumina MiSeq).
	Royan Institute	Исследования стволовых клеток с мультиомным анализом (транскриптомика + эпигеномика) для репродуктивной медицины; партнерства с российскими мегагрантами.

2. Технологии массового параллельного секвенирования

Массовое параллельное секвенирование (NGS - next-generation sequencing) — это группа технологий, позволяющих определять последовательность нуклеотидов сразу в миллионах фрагментах ДНК/РНК одновременно в целях диагностики различных заболеваний и проведения научных исследований. Технология NGS в отличие от устаревшего метода Сенгера дает очень высокую пропускную способность (от сотен мегабайт до терабайт за запуск), более низкую стоимость в расчёте на 1 мегабазу/геном, а также возможность использования сложных приложений (WGS, WES, панели, RNA-seq, метагеномика, сингл-клет, и т.п.). В таблице 2.1 представлена сервисная цепочка осуществления NGS-секвенирования.

Таблица 2.1 - Последовательность осуществления NGS (workflow)

1. Подготовка библиотеки	2. Амплификация и закрепление на носителе	3. Считывание (sequencing run)	4. Первичный анализ (basecalling)	5. Биоинформатический и клинический анализ
- Фрагментация ДНК/РНК (ферментативная или механическая). - Лигирование адаптеров (короткие известные последовательности) к концам фрагментов. - При необходимости — обогащение (target capture) нужных участков: экзомы, панели генов и т.п.	Фрагменты фиксируются на поверхности (flow cell, чип, шарики) и размножаются (bridge PCR, эмульсионная ПЦР), формируя кластеры/колонии с идентичной последовательностью.	Основные подходы: - Sequencing by synthesis (SBS) — Illumina, MGI: поочерёдное включение флуоресцентно меченых нуклеотидов, регистрация сигнала. - Полупроводниковое секвенирование (Ion Torrent): регистрация изменения pH при встраивании нуклеотида. - Одномолекулярное длиннотечение: PacBio (SMRT) - регистрация флуоресценции в реальном времени; Oxford Nanopore - измерение изменений ионного тока при прохождении молекулы через нанопору.	Преобразование сигналов (изображения, ток, pH) в последовательности нуклеотидов (fastq файлы) с оценкой качества.	- Выравнивание на референсный геном. - Поиск вариантов (SNV, indel, CNV, структурные перестройки). - Аннотация и клиническая интерпретация (по базам данных и гайдлайнам).

Практическое использование технологий массового параллельного секвенирования охватывают достаточно широкий круг: от медицины и здравоохранения до исследования популяций, формирования биобанков и агробиотехнологий (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Практическое использование технологий массового параллельного секвенирования

Медицина и здравоохранение	Научные исследования и отраслевое использование
1. Редкие наследственные заболевания и врожденные синдромы: - WES/WGS, целевые панели. - Используется как «тест первой линии» в ряде стран для сложных неопределённых диагнозов (нейрогенетика, метаболические болезни и др.).	1. Популяционная и персонализированная геномика: - Национальные/региональные проекты (Россия, Китай, Индия, ОАЭ и др.). - Биобанки и когорты.
2. Онкогенетика и молекулярная онкология: - Панели генов для таргетной терапии, иммунотерапии, прогноза. - Liquid biopsy (ctDNA) для мониторинга опухолей и минимальной остаточной болезни.	2. Агробиотехнологии: - Секвенирование геномов культурных растений и животных. - Маркер-ассистированный отбор, геномный селекционный индекс. - Диагностика фитопатогенов.

3. Репродуктивная и перинатальная медицина: • НИПТ (non-invasive prenatal testing). • Преимплантационная генетическая диагностика (PGT-A/M). • Носительство наследственных заболеваний.	3. Микробиом и метагеномика: • Анализ 16S/ITS и shotgun-метагеномики человека, животных, почв, водных экосистем. • Связь микробиома со здоровьем, питанием, эффективностью лечения.
4. Фармакогенетика: • Подбор доз и препаратов (CYP450, HLA и др.).	4. Синтетическая биология, CRISPR, функциональные скрининги: • NGS как readout в CRISPR-скринингах, barcoding-экспериментах, эволюционных экспериментах.
5. Инфекционные болезни и эпиднадзор: • Секвенирование патогенов (вирусы, бактерии, паразиты). • Геномный мониторинг вспышек (COVID-19, грипп, туберкулёз, ВИЧ, антимикробная резистентность).	5. Single-cell и spatial omics (на стыке с NGS): • Секвенирование отдельных клеток (scRNA-seq, ATAC-seq и др.). • Пространственное профилирование транскриптома и протеома в тканях.

В странах БРИКС проживает более 40% населения планеты. С точки зрения использования генетических технологий — это колоссальный ресурс биоразнообразия, который уже сейчас формирует альтернативный биотехнологический полюс, независимого от США и Евросоюза. Использование технологий NGS в странах БРИКС носит достаточно обширный характер.

С точки зрения использования технологий NGS секвенирования **в России** достаточно развит рынок генетических и диагностических сетевых лабораторий, оснащенных современными секвенаторами от глобальных производителей, присутствует достаточно широкая научно-исследовательская база, представленная НИИ РАН и университетами, есть собственные производители реagenтов и биоинформатики (таблица 2.3). Однако на данный момент в стране нет серийного производства собственных NGS-секвенаторов, сравнимых с Illumina (США) или MGI (Китай). Были попытки и прототипы (например, в ИАП РАН или проекты «Нанофор» от компании «Синтол»), но весь рынок генетической диагностики пока работает на импортном оборудовании, платформах и реагентной базе.

Поэтому, говоря о компаниях в сфере технологий NGS, мы говорим о пяти сегментах:

1. Производители секвенаторов.
2. Сервисные генетические лаборатории (те, кто оказывает услуги секвенирования и интерпретации данных).
3. Разработчики реагентов (те, кто делает наборы).
4. Разработчики биоинформатики (софт для генодиагностики).
5. Системные интеграторы (те, кто оснащает лаборатории и обеспечивает трансфер технологий).

Китай является глобальным технологическим лидером и безусловным лидером стран БРИКС. Единственная страна блока, обладающая полным технологическим суверенитетом в сфере генетических технологий в целом и использования NGS в частности. Китай реализует самые масштабные в мире проекты (когорты по 100 тыс. и 1 млн человек), НИПТ (пренатальная диагностика) в Китае стала практически обязательной процедурой, покрываемой страховкой в многих провинциях. Китай активно продвигает свои технологии (MGI Tech) в другие страны, замещая американскую Illumina. С целью сделать Китай лидером в персонализированной медицине в стране реализуется проект China Precision Medicine Initiative 2030 - государственная программа с бюджетом более 9 млрд долл., направленная на усиление позиций страны в персонализированной медицине, так же реализуется проект China National GeneBank (под управлением BGI) как инфраструктурного центра, предоставляющего исследователям услуги по обмену и обработке биологических данных, облачных вычислений с использованием ИИ и др. Ключевые компании: MGI Tech, BGI Genomics, Novogene, Berry Genomics и др. представлены в таблице 2.1. **Для России** сейчас критически важно сотрудничество с MGI (как поставщиком

базовой технологии) и, возможно, с Qitan Tech (как альтернативой нанопоровым технологиям, которые могут попасть под санкции).

Точки кооперации для РФ:

- Технологический трансфер: Не просто закупка секвенаторов MGI, а создание совместных предприятий по сборке приборов в РФ (локализация).
- Стандартизация: Создание единых стандартов генетических данных «Россия–Китай», чтобы наши базы данных были совместимы.

Индия в генетических исследованиях представлена как мировой хаб биоинформатики, это сервисный центр и «аптека» БРИКС. Сильна не «железом», а IT-кадрами и аналитикой. Лидер по использованию NGS для контроля туберкулеза (выявление резистентности к антибиотикам), для фармакогенетики и клинических испытаний. Индийские компании предлагают одни из самых дешевых в мире услуг по обработке «сырых» генетических данных. В стране реализуется проект Genome India Project по секвенированию геномов для создания эталонного «индийского генома» (завершена в 2024 году). Ключевые компании: MedGenome, Strand Life Sciences, Mapmygenome (таблица 2.3). **Для российского рынка** Индия интересна в первую очередь как: альтернативная площадка для производства реагентов (дженериков); партнер по разработке софта для анализа генетических данных; источник опыта по внедрению NGS в агросектор.

Точки кооперации для РФ:

- Химия и Ферменты: Индия — мастер синтеза. Кооперация с биотех-компаниями для производства реагентов (ДНТФ, ферменты), которых не хватает в РФ.
- Биоинформатика: Аутсорсинг рутинной обработки данных. Российские алгоритмы + индийские вычислительные мощности.

Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ). В отличие от Китая (производство) или Индии (аутсорс), стратегия ОАЭ — это Государственные Визионерские Проекты. В стране запустили одну из самых амбициозных в мире программ — «Emirati Genome Program», с целью отсеквенировать геном каждого гражданина. Рынок держится не на стартапах, а на гигантских полугосударственных конгломератах и стратегических партнерствах с мировыми лидерами. На рынке используется самое дорогое оборудование и технологии, для создания лучшей в мире системы здравоохранения. Главный тренд на рынке — переход от простого сбора данных к фармакогеномике и превентивной медицине. **Для российских компаний** - это идеальное место для продажи высокотехнологичных решений B2G (бизнес-государству).

Точки кооперации для РФ:

- Венчурное финансирование: Привлечение арабских суверенных фондов (Mubadala) в российские биотех-стартапы, которые не могут получить западное финансирование.
- R&D Хабы: Открытие филиалов российских компаний в Дубае для выхода на глобальный рынок без санкционного дисконта.

Бразилия. Специфика бразильского рынка: *Агрогеномика*. Бразилия — мировая житница. Здесь колоссальные деньги вкладываются в секвенирование геномов кофе, сои, сахарного тростника и скота. *Вирусология*: из-за вспышек Зика, Денге и Желтой лихорадки, бразильские компании обладают уникальными компетенциями в эпидемиологическом надзоре с помощью NGS. Рынок медицинской генетики поделен между двумя гигантскими диагностическими холдингами (DASA и Fleury), которые скупают мелких игроков.

Точки кооперации для РФ:

- Продовольственная безопасность: Совместные проекты по геномной селекции пшеницы и сои (обмен генетическими маркерами устойчивости).
- Вирусология: Обмен данными по тропическим вирусам (Бразилия) и северным вирусам/клещам (Россия).

Южно-Африканская Республика (ЮАР) — это безусловный лидер африканского континента в области биотехнологий и геномики. В отличие от многих развивающихся рынков, в ЮАР существует мощная инфраструктура не только для диагностики, но и для научных исследований (именно южноафриканские ученые одними из первых секвенировали и описали штамм «Омикрон» благодаря развитой сети NGS). Рынок здесь делится на крупных коммерческих провайдеров услуг (CRO) и мощные частные диагностические сети.

Точки кооперации для РФ:

- Мониторинг патогенов: ЮАР — лидер в секвенировании вирусов.
- Создание единой системы раннего предупреждения пандемий в рамках БРИКС.

Иран. Страна с уникальным опытом развития биотеха под тотальными санкциями (более 40 лет). Ключевые организации: Институт Пастера в Иране (Pasteur Institute of Iran), Институт Рояна (Royan Institute — лидер в стволовых клетках и генетике), CinnaGen.

Точки кооперации для РФ:

- Производство биосимиляров - Иран производит 95% лекарств сам.
- Создание совместных производств ферментов для NGS, независимых от западных патентов.

В Египте почти нет локальных производителей платформ или собственных NGS-решений — рынок сосредоточен на сервисе и клинике. С точки зрения биотех-стратегии, Nawah Scientific, IDH (Al Borg / Al Mokhtabar), CCHE 57357 и центры Zewail City / EGP — это основные «узлы», через которые проходят большие потоки образцов и данных, решения о внедрении новых панелей и софта, формирование спроса на оборудование, реагенты и аналитические решения.

Точки кооперации для РФ:

- Экспорт технологий: Египет запустил свой геномный проект. Россия может выступать консультантом и поставщиком биоинформатических решений.
- Онкология: Египет активно строит онкоцентры. Поставка российских тест-систем NGS для диагностики рака.

Рынок Индонезии сейчас переживает настоящий бум в области геномики. Это связано с недавним запуском государственной инициативы BGSi (Biomedical and Genome Science Initiative), цель которой — секвенировать геномы местного населения. Рынок здесь представлен смесью мощных фармацевтических конгломератов, создающих свои геномные подразделения, и агрессивных биотех-стартапов (часто с сингапурскими корнями). В Индонезии рынок NGS представлен в основном не производителями платформ, а лабораториями, сервисными компаниями и интеграторами, которые используют Illumina / Thermo / MGI и др.

Точки кооперации для РФ:

- Морская геномика: Совместное изучение генетики морских организмов (водоросли, моллюски) для создания новых БАДов и лекарств. У РФ сильная школа морской биологии (ДВО РАН).
- Халяль-биотех: Разработка генетических тестов и вакцин, соответствующих стандартам Халяль (критично для Индонезии и др. стран).

Эфиопия. По состоянию на 2024 год в Эфиопии практически нет частных биотехнологических компаний, которые бы разрабатывали собственные NGS-платформы, реагенты или софт. NGS-экосистема строится вокруг: национальных институтов (EPHI, AHRI); международных структур (Africa CDC); одной крупной частной лабораторной сети (ICL). В Эфиопии рынок NGS пока практически не представлен частными технологическими компаниями в строгом смысле; основная мощность по массовому параллельному секвенированию сосредоточена в государственных и исследовательских центрах, плюс в одной крупной частной диагностической сети.

Точки кооперации для РФ:

- Инфекционный контроль: Поставка мобильных лабораторий Роспотребнадзора (с NGS на борту) для мониторинга эпидемий. Это «мягкая сила» и био-дипломатия.
- Агрогеномика: Помощь в селекции устойчивых культур (теф, кофеи др.) для предотвращения голода.

На рисунке 2.1 представлены уровни владения технологиями в странах БРИКС, а также возможности для кооперации российских компаний с партнерами из этих стран. Более детальная информация по компаниям представлена в таблице 2.3

Технологии массового параллельного секвенирования (NGS)

Массовое параллельное секвенирование (NGS - next-generation sequencing) — это группа технологий, позволяющих определять последовательность нуклеотидов сразу в миллионах фрагментах ДНК/РНК одновременно в целях диагностики различных заболеваний и проведения научных исследований.

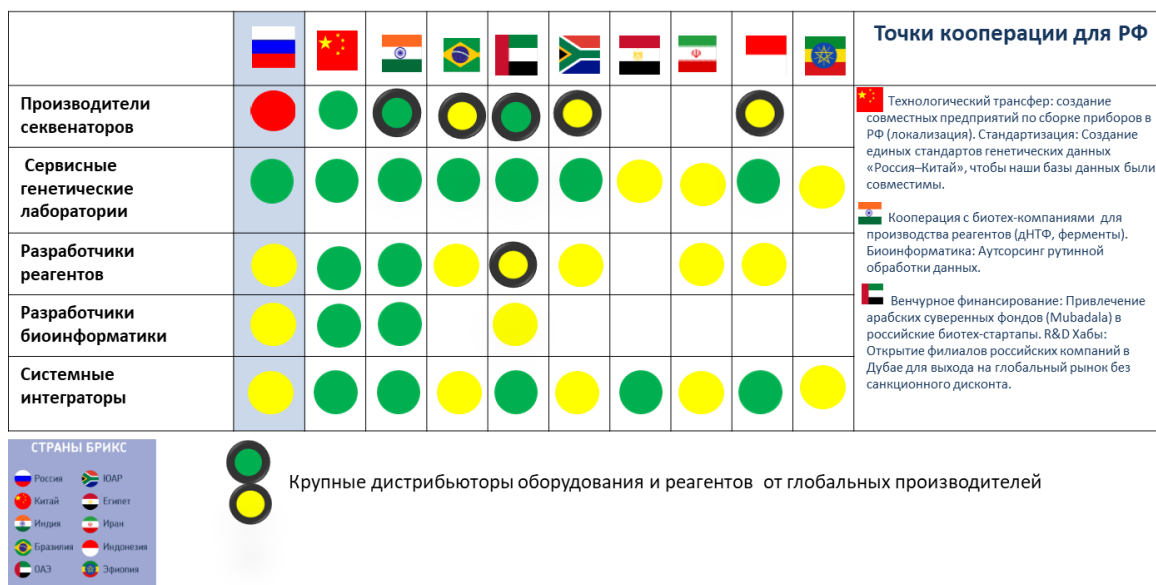


Рисунок 2.1 – Уровни владения технологиями массового параллельного секвенирования в странах БРИКС

Таблица 2.3 - Компании стран БРИКС, представленные в секторе технологии массового параллельного секвенирования

Страна	Название компании	Описание
Россия	ООО "НПФ Синтол"	Институт аналитического приборостроения РАН совместно с компанией «Синтол» завершил разработку отечественного секвенатора для массового параллельного секвенирования ДНК. Прибор называется «Нанофор СПС», работает по принципу секвенирования путем синтеза на отечественной реагентике, совместимой с реагентами Illumina. Совместно с Институтом аналитического приборостроения РАН и МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан и серийно производится прибор для ПЦР в реальном времени «АНК». Ведётся разработка и внедрение в производство новых флуоресцентных красителей и гасителей флуоресценции. Разрабатываются новые наборы реагентов для диагностики бактериальных и вирусных инфекций, в частности, для диагностики особо опасных инфекций; новые приборы для ПЦР-PV, вспомогательное лабораторное оборудование (термостаты, центрифуги, шейкеры, системы автоматизированного выделения нуклеиновых кислот и др.). Компания также разрабатывает наборы реагентов, в том числе для генотипирования однонуклеотидных полиморфизмов, проведения подбора праймеров и зондов для ПЦР в реальном времени.
	НПФ «ДНК-Технология» (DNA-Technology)	Компания активно развивает производство реагентов и оборудования для высокопроизводительного секвенирования (NGS), применяемого для: Типирование генов тканевой совместимости (HLA) для создания регистра доноров костного мозга; Неинвазивное выявление анеуплоидий у плода; Проведение преимплантационного генетического тестирования на анеуплоидии. Продукция компании:

		Оборудование для ПЦР-лабораторий: Детектирующие амплификаторы (серия ДТ) Источники питания, гомогенизаторы, ПЦР-боксы Устройства для автоматизации. Программное обеспечение для молекулярно-генетических исследований. Наборы реагентов: Инфекционные заболевания: урогенитальные, герпесвирусные, грибковые, ВПЧ. Исследование микробиоты: Фемофлор®, Андрофлор®, Энтерофлор® Дети. Неинвазивная пренатальная диагностика. Наборы реагентов для выявления SNP. Выявление нозокомиальных инфекций (БакСкрин УПМ) и генов резистентности к антибиотикам (БакРезиста GLA). HLA-типирование (HLA-B27, HLA-DRB1 и др.). И многое другое.
	Parseq Lab (Парсек Лаб)	Разработка и производство тест-систем для высокопроизводительного секвенирования (NGS). Parseq Lab разрабатывает, производит, поставляет и внедряет: Диагностические и научные NGS тест-системы; Реагенты для подготовки NGS библиотек; Программное обеспечение для анализа данных
	ТестГен	Одна из ведущих R&D-компаний российского рынка молекулярной диагностики, биотехнологий и биоинформатики. В разработке находятся наборы для использования в клинической диагностике онкологических заболеваний, а также проведения селективных скрининговых исследований с целью выявления групп риска. «ТестГен» разработал гибкую и безопасную облачную платформу XplainBio на базе технологий искусственного интеллекта. Платформа предназначена для интерпретации результатов NGS-анализа. «ТестГен» осуществляет разработку тест-систем для молекулярно-генетических исследований в области моногенных и многофакторных наследственных заболеваний, онкологии и пренатальной диагностики методом ПЦР «в реальном времени» и ПЦР с последующим секвенированием, которые позволяют оценить степень генетической предрасположенности к развитию того или иного генетического заболевания.
Китай	BGI Group / BGI Genomics	Одна из крупнейших геномных компаний в мире. Исторически начинала как крупный секвенаторный центр (участник проекта «Геном человека»), сейчас — интегрированный игрок: услуги WGS, WES, RNA-seq, метагеномика, микробиом и др. для науки, фармы и агро, клиническая генетическая диагностика (онкология, пренатальное тестирование, наследственные заболевания), популяционные и национальные геномные проекты. Использует как собственные, так и сторонние NGS-платформы, имеет большую собственную биоинформатическую инфраструктуру
	China National GeneBank (под управлением BGI)	CNGBdb — это единая платформа, предоставляющая исследователям услуги по обмену и использованию биологических данных. Используя технологии больших данных, облачных вычислений и искусственного интеллекта, он предлагает такие услуги, как отправка данных, анализ и обучение биоинформатике.
	MGI Tech (MGI)	Инженерное «крыло» экосистемы BGI, один из немногих глобальных конкурентов Illumina в части собственных NGS-платформ. Линейка секвенаторов DNBSEQ (T7, DNBSEQ-G400/MGISEQ-2000, DNBSEQ-G99 и др.), автоматы для пробоподготовки (роботы, станции экстракции, библиотечные станции), реагенты и расходники для своих платформ, базовый софт для первичной обработки и управления парком приборов. Активно продвигается как решение для клинических, исследовательских и популяционных геномных центров
	Qitan Technology (Qitan Tech)	Китайский конкурент Oxford Nanopore. Компания разрабатывает нанопоровые секвенаторы (четвертое поколение). В отличие от оптических методов (Illumina/MGI), их приборы читают ДНК, протаскивая её через микроскопическую пору и измеряя ток. В 2021 году они выпустили свой первый коммерческий прибор QNANO.
	GeneMind Biosciences	Разработчик секвенаторов одиночных молекул. Компания из Шэньчжэня, создавшая платформу GenoCare. Их технология (SURF-seq) позволяет секвенировать одиночные молекулы ДНК без предварительной амплификации (размножения), что снижает количество ошибок и упрощает пробоподготовку. Это прямой конкурент американской технологии PacBio, но ориентированный на клиническое использование

	<u>Annoroad Gene Technology</u>	Компания, которая совмещает сервис и разработку, известна своими решениями для секвенирования единичных клеток (Single Cell Sequencing) — это передовой край науки. Также разрабатывает свой собственный секвенатор NextSeq 550AR (в партнерстве с Illumina), адаптированный под китайские клиники
	<u>Novogene</u>	Один из крупнейших в мире сервисных провайдеров NGS. Полный спектр услуг секвенирования: WGS, WES, RNA-seq, scRNA-seq, ChIP-seq, 16S/shotgun-метагеномика и др., сильное присутствие в академической науке, фарме, агробитехе; глобальная сеть лабораторий (Китай, США, Европа), собственные стандартные биоинформатические пайплайны и облачная инфраструктура. Новоген не делает свои секвенаторы, но является одним из крупнейших профессиональных пользователей NGS-платформ (Illumina/MGI). Они собирают образцы со всего мира (в том числе из Европы и США), секвенируют их невероятно дешево и быстро возвращают данные. Для многих ученых дешевле отправить пробирки в Novogene, чем делать анализ у себя в стране
	<u>Berry Genomics (Berry Genomics Co., Ltd.)</u>	Крупный игрок в области клинической NGS-диагностики в Китае, публичная компания. Основные направления: неинвазивное пренатальное тестирование (NIPT) на базе NGS, панели для наследственных заболеваний и онкогенетики, разработка и производство IVD-наборов и диагностических решений, одобренных китайским регулятором (NMPA). Фокус — интеграция NGS в рутинную клиническую практику и лаборатории больниц.
	<u>Burning Rock Biotech (Burning Rock)</u>	Специалист по онкологической NGS-диагностике, в том числе по анализу циркулирующей ДНК (liquid biopsy). NGS-панели для солидных опухолей и гематоонкологии (ткань и кровь), тесты для подбора таргетной и иммунотерапии, работа в формате companion diagnostics с фармкомпаниями (стратификация пациентов в клинических исследованиях), развитие решений для ранней диагностики и мониторинга минимальной остаточной болезни (MRD).
Индия	<u>MedGenome</u>	один из крупнейших игроков в Индии в области геномики и клинической NGS-диагностики: клинические NGS-тесты: наследственные болезни, онкогенетика, кардиогенетика, офтальмогенетика и др.; WES, WGS, панели генов, RNA-seq и др. для исследовательских проектов (академия, фарма, биотех); популяционные и коортные геномные исследования, биоинформатический анализ; сотрудничество с фармкомпаниями (биомаркеры, таргетная терапия, клин.исследования).
	<u>Strand Life Sciences</u>	компания на стыке диагностики и bioIT; один из пионеров онкогеномики в Индии: NGS-тесты в онкологии (опухолевые панели, liquid biopsy), наследственные заболевания; разработка и эксплуатация собственных биоинформатических платформ для анализа NGS-данных; услуги WES/WGS/RNA-seq для исследований и клин.коллабораций; решения для больниц и лабораторий (лабораторные панели + софт для интерпретации).
	<u>Mapmygenome</u>	пионеры в области персональной геномики и профилактических медицинских решений для частных лиц, больниц и клинических организаций по всей Индии и за её пределами. Персональные геномные тесты — информация о здоровье, благополучии, питании и фитнесе на основе ДНК. Диагностика и профилактика — генетический скрининг наследственных заболеваний и оценка риска заболеваний, связанных с образом жизни. Микробиом и здоровье мозга — научные решения для здоровья кишечника и психического благополучия. Клинические исследования и корпоративное благополучие — сотрудничество с больницами, исследователями и организациями для создания программ здравоохранения на основе данных.
Бразилия	<u>Mendelics</u>	Одна из первых и наиболее известных специализированных генетических лабораторий Бразилии, сфокусированных именно на NGS. Диагностика наследственных заболеваний: целевые панели, полноэкзомное секвенирование (WES), иногда полногеномное (WGS). Онкогенетика (наследственные онкосиндромы, некоторые соматические панели). Сильный упор на клиническую интерпретацию, работу с врачами и внедрение NGS в рутинную медицинскую практику. Mendelics известна тем, что разработала собственные алгоритмы и панели для диагностики редких заболеваний, оптимизированные под латиноамериканскую популяцию. Они также запустили проект «Теуи» (бразильский аналог 23andMe), популяризируя генетику в массах.
	<u>Dasa Genômica (группа Dasa)</u>	Dasa — крупнейшая частная диагностическая сеть в Латинской Америке, в составе которой есть мощное направление Dasa Genômica. NGS-диагностика:

		наследственные заболевания, онкогенетика, фармакогенетика, пренатальная и репродуктивная генетика. Масштабная лабораторная инфраструктура, интеграция NGS-тестов в сеть клиник и лабораторий по всей стране. Использует NGS как основу для персонализированной медицины и поддержки врачебных решений.
	Grupo Fleury (Fleury Genômica)	Главный конкурент Dasa. Fleury исторически позиционируется как более «научная» и премиальная сеть. Они активно инвестируют в R&D и сложные случаи, которые требуют не просто потокового секвенирования, а глубокой медицинской интерпретации. Сильно интегрированы с ведущими госпиталями Сан-Паулу. Grupo Fleury — один из крупнейших медицинско-диагностических холдингов Бразилии; его подразделение Fleury Genômica занимается молекулярной и геномной диагностикой. NGS-панели для наследственных заболеваний и онкогенетики. Пренатальная и репродуктивная генетика (в том числе генетическое сопровождение ЭКО). Сильная интеграция лабораторных NGS-данных с клиническими сервисами группы (консультации, мультидисциплинарные команды)
ОАЭ	M42 (ранее G42 Healthcare)	Один из главных драйверов геномики в ОАЭ, операционный партнёр Emirates Genome Program. Экосистема: Omics Centre of Excellence, крупные NGS-мощности, биоинформатика, инфраструктура для популяционных и клинических геномных проектов. Применения: WGS/WES и панели для клиники (наследственные болезни, онкология, фармакогенетика), популяционные геномные программы и национальные биобанки, поддержка R&D для фармы и биотеха
	PureHealth	Крупнейший оператор лабораторной и клинической инфраструктуры в ОАЭ, объединяющий множество диагностических центров. Использует NGS в рамках: клинической генетики (наследственные заболевания, панели генов), онкогенетики (молекулярное профилирование опухолей), некоторых репродуктивных и пренатальных тестов. Сильная сторона: масштабная сеть и интеграция NGS-диагностики в рутинные маршруты пациентов по всей стране
	Agiomix	Agiomix — это классический, гибкий бизнес. Базируясь в Dubai Science Park, они являются крупнейшим независимым поставщиком услуг NGS для исследователей и клиник во всем регионе MENA (Ближний Восток и Африка). Они аккредитованы CAP (золотой стандарт качества) и выполняют все виды работ: от секвенирования экзомов для больных детей до анализа онкомаркеров.
Египет	Nawah Scientific	Один из первых частных центров в Египте и MENA, предлагающих геномные и транскриптомные исследования как услугу для академических исследований, фармы и биотех-стартапов. Позиционируют себя как аутсорсинговый R&D-центр: помимо классических аналитических сервисов (химия, клеточные исследования) предоставляют NGS-секвенирование и биоинформатику (DNA/RNA-seq, таргетные панели и т.п.). Фактически выступают «национальным ядром» контрактных NGS-услуг
	Integrated Diagnostics Holdings (IDH) — сети Al Borg и Al Mokhtabar	Крупнейший частный диагностический холдинг Египта и региона MENA, в чьи сети лабораторий входят Al Borg и Al Mokhtabar. Профиль по NGS: онкогенетика, наследственные заболевания, репродуктивная/пренатальная диагностика; часть тестов выполняется с использованием NGS (на собственных или партнёрских платформах).
	Zewail City of Science and Technology — Center for Genomics / Helmy Institute	Научно-образовательный комплекс, в составе которого есть один из самых продвинутых в Египте центров геномики. Профиль по NGS: популяционная и медицинская геномика, онкогеномика, транскриптомика; полный цикл NGS-исследований и биоинформатический анализ для внутренних и внешних проектов.
ЮАР	Inqaba Biotechnical Industries (Inqaba Biotec)	Специализация: Предоставляют полный спектр услуг по секвенированию как услуги (Genomics Service Provider). Работают как с Illumina (короткие прочтения), так и с PacBio (длинные прочтения). Роль в NGS: Являются ключевым хабом. Профиль по NGS: услуги по секвенированию (в т.ч. таргетное NGS, транскриптомика), дизайн эксперимента, биоинформатический анализ; работает как контрактная платформа для университетов, больниц, агро- и биотех-компаний по всему континенту. Также они производят олигонуклеотиды и поставляют реагентику.
	Centre for Proteomic and Genomic Research (CPGR)	Профиль по NGS: широкий спектр NGS-технологий (whole genome/exome, таргетные панели, RNA-seq, small RNA, метагеномика), разработка кастомных панелей, а также последующая биоинформатика. CPGR часто выступает инфраструктурным партнёром для фармы, биотех-стартапов и клинических исследований. Специализация: Высокотехнологичная «omics»-платформа. Они

		предоставляют услуги NGS для академии и фармкомпаний, но также активно создают спин-офф компании (стартапы) на базе своих разработок. Роль в NGS: Обладают одной из самых мощных приборных баз в Африке. Специализируются на точной медицине (Precision Medicine), онкогеномике и агробиотехнологиях. Они задают стандарты качества биоинформатической обработки данных в регионе.
Иран	Pishgam Biotech Company (Pishgam Biotech / PBC)	Услуги по NGS: таргетные панели, экзомное секвенирование, иногда — панели для онкологии и наследственных заболеваний. Дистрибуция и локализация реагентов и наборов для библиотечной подготовки и NGS. Поддержка академических и клинических проектов (университеты, больницы, исследовательские центры).
	Kawsar Biotechnology Company (Kawsar Biotech)	Крупный иранский производитель наборов для ПЦР, молекулярной диагностики и реагентов для генетики, который также работает с NGS. Роль в NGS: Производство наборов для выделения нуклеиновых кислот, ПЦР, real-time ПЦР, иногда — библиотечных наборов под NGS. Дистрибуция и сервис вокруг платформ секвенирования (Illumina / Thermo / Ion Torrent — в зависимости от партнёров). Поддержка клинично-диагностических лабораторий, использующих NGS-панели
	Royan Institute – Genomics / Genetics Lab	Royan Institute формально — исследовательский институт (полугосструктура), но по факту один из ключевых поставщиков NGS-услуг для исследовательских и клинических проектов. Роль в NGS: Исследовательское и клиническое NGS (WES/WGS, транскриптомика, таргетные панели) в областях репродуктивной медицины, онкологии, стволовых клеток. Сотрудничество с университетами и клиниками, участие в национальных и международных геномных проектах. Часто выступает платформой для пилотных проектов по новым NGS-подходам
Индонезия	Nalagenetics (PT Nalagenetics Indonesia)	Стартап прецизионной медицины (офисы в Сингапуре и Индонезии), фокусируется на фармакогеномике и клинической генетике. Использует NGS и микроматричные технологии для панелей по лекарственной чувствительности и наследственным заболеваниям, предлагает как лабораторные сервисы, так и IT-платформу для интерпретации результатов.
	KalGen (Kalbe Genomics)	Компания PT. KalGen DNA, основанная в 2012 году, является совместным предприятием PT Bifarma Adiluhung (дочерней компании PT Kalbe Farma Tbk.) и малайзийской компании DNA Laboratories Sdn. Bhd., которая является ведущим поставщиком услуг и продуктов генетического скрининга и молекулярной диагностики в Малайзии. Предоставляют самые популярные в стране тесты NIPT (неинвазивная пренатальная диагностика) и комплексные панели для типирования рака легких, груди и кишечника. У них собственная мощная лаборатория в Джакарте
	Genomik Solidaritas Indonesia (GSI Lab)	Крупная частная высокопроизводительная лаборатория в Джакарте, созданная во время пандемии COVID-19 и затем расширившаяся до широкой панели молекулярно-генетических услуг. Использует NGS для вирусного геномного надзора, исследований по инфекционным заболеваниям и, постепенно, онкогенетики.
	Genetika Science Indonesia	Биотехнологическая компания и дистрибьютор, специализирующийся на оборудовании и реагентах для молекулярной биологии и геномики. Представляет в Индонезии ряд международных брендов (в том числе NGS-платформы и наборы), обеспечивает установку, сервис и иногда — контрактные услуги секвенирования.
	PathGen Diagnostik Teknologi (PathGen)	Инновационная компания, ориентированная на молекулярную диагностику инфекционных заболеваний, в том числе с использованием NGS-подходов (таргетное секвенирование патогенов, диагностика резистентности и пр.). Позиционирует себя как разработчик тест-систем и решений для стран Юго-Восточной Азии.
Эфиопия	Ethiopian Public Health Institute (EPHI)	Национальный референс-центр по общественному здравоохранению и ключевой игрок по патогеномике и геномному надзору (SARS-CoV-2, грипп, туберкулёз и др.). Роль в NGS: национальный центр по массовому секвенированию геномов патогенов; поддержка эпиднадзора и исследований, участие в африканских и глобальных консорциумах по геномике; одна из главных площадок, куда ставится оборудование Illumina/других вендоров в Эфиопии
	International Clinical Laboratories (ICL Ethiopia)	Крупнейшая частная диагностическая лабораторная сеть Эфиопии (партнёр Cerba / международных групп). Это главный частный игрок, потенциально использующий или интегрирующий NGS в клиническую диагностику. Роль в NGS: продвинутые молекулярно-генетические тесты (онкомаркеры, инфекции, наследственные заболевания) с возможностью подключения NGS-панелей либо на собственных

		мощностях, либо через партнёрские референс-лаборатории; канал вывода NGS-диагностики на частный рынок (B2C и B2B — клиники, страховые, корпоративные клиенты)
	Armauer Hansen Research Institute (AHRI)	Это государственный биомедицинский исследовательский институт, он работает как ключевой технологический партнер для биотех-индустрии региона. Специализация: Исследования инфекционных заболеваний (ТБ, лепра, ВИЧ) и генетики. Роль в NGS: AHRI обладает одной из самых сильных баз NGS-оборудования в стране (включая платформы Illumina). Именно здесь проводятся наиболее сложные проекты по секвенированию патогенов. Коммерческие компании часто сотрудничают с AHRI для проведения R&D или пилотных проектов, так как у частных нет такого оборудования

3. Технологии анализа больших геномных данных

В сегменте анализа больших геномных данных основу технологий составляют высокопроизводительное секвенирование и вычислительная инфраструктура. Используются платформы WGS/WES, RNA-seq, single-cell и метагеномика, данные хранятся в облачных хранилищах и распределенных кластерах (HPC, GPU-фермы, специализированные FPGA/ASIC-ускорители). Для обработки используются стандартизованные пайплайны выравнивания и вызова вариантов, системы управления данными (LIMS, data lakes), а также инструменты безопасной работы с медицинскими данными, такие как шифрование, дифференциальная приватность, псевдонимизация. Активно используются ИИ и статистическое моделирование для интерпретации и интеграции этих данных. Компании и центры развивают нейросетевые модели для предсказания патогенности вариантов, полигенные скоринги риска, поиск драйверных мутаций в раке и анализ многомодальных наборов. Используются методы глубокого обучения, CNN/RNN/transformer-архитектуры для последовательностей и графов, байесовские модели.

Россия формирует собственную экосистему анализа больших геномных данных вокруг потребительских и клинических сервисов и крупного национального проекта. DTC-компании Genotek и «Атлас» перешли от простого SNP-генотипирования к полигенным скоринг-моделям, применяя нелинейные методы машинного обучения и глубокие нейросети для оценки рисков сложных заболеваний и уточнения этнического происхождения. Национальная инициатива «100 000+Я» формирует базу полногеномных данных десятков тысяч россиян, создавая фундамент для дальнейших AI-моделей и локальных референсных панелей. Академические группы и ИТ-компании параллельно тестируют нейросетевые модели для полигенной оценки риска, которые уже лицензируются коммерческими генетическими сервисами.

Китай один из абсолютных мировых лидеров по объемам секвенирования и медицинскому ИИ. BGI/MGI и Novogene оперируют мощностями, позволяющими обрабатывать сотни тысяч полногеномных последовательностей в месяц, опираясь на собственные суперкомпьютерные кластеры и автоматизированные пайплайны анализа. Национальные хранилища CNGBdb и CNCB-NGDC объединяют архивы геномики, транскриптомики и метагеномики, используют big data, облачные вычисления и ИИ-сервисы для поиска и аннотации вариантов.

Индия постепенно превращается в один из мировых центров геномики, сочетая крупные кластеры хранения и преобразования данных с внедрением ИИ. MedGenome и ряд других игроков выводят на рынок облачные платформы с AI-driven variant analysis, где машинное обучение ускоряет фильтрацию и интерпретацию клинически значимых мутаций. Национальные проекты Genomelndia и IndiGen уже секвенировали более 10 000 полных геномов и более 1000 WGS с созданием базы из миллионов уникальных вариантов. Данные архивируются в Indian Biological Data Centre как общенациональный ресурс для исследований и медицины. Эти репозитории становятся основой для разработки индийских полигенных моделей риска и AI-инструментов персонализированной диагностики, включая редкие наследственные заболевания.

Бразилия выстраивает собственный кластер высокотехнологичной геномики, опираясь на частные лаборатории и национальные программы прецизионной медицины. Mendelics, крупнейшая геномная лаборатория Латинской Америки, разработала платформу Abracadabra: она с помощью искусственного интеллекта автоматически классифицирует варианты NGS как патогенные или доброкачественные, что критично для диагностики редких заболеваний и онкологии. Параллельно Dasa Genômica, Fleury Genômica и другие сети разворачивают клинические NGS-центры с централизованными биоинформатическими пайплайнами. На уровне государства программа Genomas Brasil и проекты DNA do Brasil, Brazilian Rare Genomes и EPIGEN-Brasil создают большие когортные наборы WGS и омни-данных по тысячам бразильцев, представляющих сложную смешанную структуру населения, эти панели уже используются как референсы для алгоритмов машинного обучения и ассоциативных исследований.

ЮАР вместе с африканскими партнерами делают ставку на AI-поддерживаемый патогеномный и популяционный надзор. Платформа KRISP/CERI в Дурбане и сеть NGS-SA стали одним из глобальных примеров того, как массовое WGS вируса (десятки тысяч геномов SARS-CoV-

2 и других патогенов) в сочетании с локальной биоинформатикой и моделями машинного обучения позволяет в реальном времени отслеживать новые варианты и информировать политику в области общественного здравоохранения. SAMRC Genomics Centre и CPGR обеспечивают инфраструктуру WGS/multi-omics и вычислительные мощности, а H3ABioNet, AWI-Gen и другие инициативы формируют крупные когортные наборы человеческих геномов по всему континенту, которые служат основой для обучения AI-моделей, учитывающих генетическое разнообразие африканских популяций.

Иран строит основу исследований больших геномных данных через государственную инфраструктуру биоресурсов и стандартизацию хранения и доступа. Эфиопия активно развивает патогеномную геномику и геномный эпиднадзор, включая развитие вместе с международными программами и внедрение масштабируемых практик геномной эпидемиологии. Индонезия, напротив, оформляет end-to-end контур прецизионной медицины на уровне государства.

Более детальная информация по компаниям стран БРИКС представлена в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Компании стран БРИКС, владеющие технологиями анализа больших геномных данных

Страна	Название компании	Описание
Китай	BGI Genomics	Крупнейший китайский игрок в геномике: платформы DNBSEQ, услуги WGS, метагеномики и онлайн-анализ больших массивов секвенирования.
	Novogene	Поставщик крупномасштабных NGS-услуг (геномы, транскриптомы, метагеномы) с мощной биоинформатикой и анализом больших данных для академии и индустрии.
	Berry Genomics	Клиническая геномная компания, внедряющая long-read и другие технологии секвенирования для диагностики, оперирует крупными клиническими геномными базами.
	Burning Rock Biotech	Диагностика в онкологии на основе NGS-панелей: профилирование опухолей, выбор терапии, компаньон-диагностика, большие базы мутаций рака.
	AnnoRoad Gene Technology	Платформенная компания по геномике: широкая линейка NGS-услуг (single-cell, 3-е поколение и др.), полный цикл от секвенирования до биоинформатического анализа.
	GenePlus	Онкологическая и патогеномная NGS-платформа: клиническое секвенирование, собственная LIMS/информатическая система для обработки больших потоков данных.
	WeGene	DTC-платформа для персонального генетического тестирования и исследований, первой в Китае предложила потребителям whole-genome sequencing, оперирует массовыми генотипными массивами.
	HaploX Biotechnology	Провайдер генетических тестов и liquid biopsy: секвенирование, биоинформатика и big-data-аналитика для раннего скрининга рака и разработки компаньон-диагностики.
	Genecast	Онкологическая молекулярная диагностика: NGS-панели, MRD-мониторинг, мультиомный подход и высокопроизводительное секвенирование с собственными биоинформатическими пайплайнами.
	Amoy Diagnostics	Китайский лидер в молекулярной онкодиагностике, разрабатывает NGS-панели (Essential/Handle) для выявления драйверных мутаций и компаньон-диагностики.
	National Genomics Data Center	Национальный центр геномных данных Китая: семейство баз (геномы, варианты, транскриптомы и др.) с большими объемами multi-omics-данных, архивация и интегративный анализ.
	CNGBdb & CNSA	Национальный генобанк в Шэньчжэне: большие репозитории multi-omics (CNGBdb, CNSA), инфраструктура хранения/вычислений и сервисы для анализа и обмена биологическими big data.
Индия	MedGenome	Крупнейшая геномная лаборатория Индии: WGS, экзомы, транскриптомика и другие NGS-услуги с полным биоинформатическим анализом для клиники и исследований.
	MapmyGenome	DTC-и клиническая платформа персональной геномики: массовые DNA-тесты по слюне, анализ рисков и предрасположенностей, создающие крупные когорты индийских генотипов.
	4baseCare	Компания прецизионной онкологии, использующая панельное и WES/WGS-секвенирование опухолей и цифровую платформу для построения больших онкогеномных баз и персонализации терапии.
	HaystackAnalytics	Deep-tech-компания из IIT Bombay: решение Omega TB и набор TB One для WGS Mycobacterium tuberculosis и автоматизированного анализа больших массивов геномов возбудителя.

	Nucleome Informatics	Геномная компания в Хайдарабаде, единственный в Индии провайдер, совмещающий NovaSeq 6000 и PacBio Sequel II.
	SN GeneLab	Диагностическая и исследовательская геномная лаборатория, предлагающая клинические WGS и экзомы, оснащена современными NGS-платформами (включая NovaSeq X) для высокопроизводительного секвенирования.
	GeneSpec	Провайдер комплексных NGS- и биоинформатических услуг (WGS, панельное секвенирование, генотипирование) для академических и промышленных проектов в Индии и за рубежом.
	ONEOMICS	NGS-сервисная компания из Тамилнаду: WGS/WES и другие геномные сервисы, плюс локальное распространение биоинформатического ПО и консультации по анализу секвенированных данных.
	CSIR-IGIB & программа IndiGen	Национальный институт геномики и интегративной биологии (CSIR-IGIB), ведущий крупные проекты по редким болезням и популяционной генетике, в рамках программы IndiGen выполнено WGS >1000 индийцев и создан ресурс IndiGenomes с десятками миллионов вариантов.
	GenomeIndia Project	Государственный консорциум из ~20 институтов, выполнивший WGS 10 000 здоровых жителей Индии из 83 популяций, создает национальную референсную панель и общедоступный каталог вариаций.
	National Institute of Biomedical Genomics	Национальный институт биомедицинской геномики, ведущий крупные когорты по раку и другим заболеваниям и участвующий в международных консорциумах по крупномасштабным геномным исследованиям.
	Indian Tuberculosis Genomic Surveillance	Национальная программа по геномному надзору за туберкулезом: планирует секвенировать >32 000 изолятов Mycobacterium tuberculosis и использовать big-data-аналитику для картирования мутаций лекарственной устойчивости.
	Rajiv Gandhi Centre for Biotechnology	Институт в Керале с мощной NGS-платформой (NovaSeq 6000, 10x Genomics, MiniON), недавно выбран одним из национальных NGS-хабов для метагеномного синдромного надзора и анализа тысяч клинических образцов.
Бразилия	Mendelics	Частный геномный лабораторный центр (Сан-Паулу), пионер и лидер NGS в Латинской Америке, выполняет экзомы и WGS с собственной биоинформатикой и хранением больших массивов клинических геномов.
	Dasa Genômica	Геномное подразделение крупнейшей сети Dasa, центр высокопроизводительной диагностики (NovaSeq и др.) с услугами полного генома, панелей и последующим анализом сложных вариантов (SNV, indel, CNV, SV).
	Genera	Лаборатория персональной геномики и DTC-тестов, заявляет крупнейшую базу генетических данных в Латинской Америке, проводит генотипирование/секвенирование и big-data-анализ рисков, признаков и происхождения.
	BIPMed	Национальная инициатива прецизионной медицины: общедоступная база экзомов и SNP-данных бразильцев, инфраструктура для хранения и анализа больших геномных наборов для исследований и клиники.
	Mapa Genoma Brasil	Проект, использующий секвенирование для онкологии и кардиологии, строит большие клинко-геномные когорты в рамках национальной программы Genomas Brasil.
	Genomas Brasil	Национальная программа, задающая инфраструктуру и стандарты геномики и прецизионной медицины в SUS, включает проекты по популяционному WGS, редким и сердечно-сосудистым заболеваниям, с хранением данных в общих репозиториях.
ЮАР	KRISP	Специализированный центр геномики (Университет Квазулу-Натал): WGS патогенов и человека, разработка онлайн-инструментов (Genome Detective и др.) и ключевой узел для больших эпидемиологических геномных исследований.
	SAMRC Genomics Centre	Центр геномики Южноафриканского совета по мед. исследованиям: первая в Африке высокопроизводительная платформа WGS, обеспечивающая локальное секвенирование, хранение и анализ человеческих геномов и других омик-данных.
	CPGR	НКО-платформа в Кейптауне с полным стеком NGS (включая long-read), предоставляет услуги секвенирования геномов, транскриптомов и таргетных панелей с последующим биоинформатическим анализом для академии и индустрии.
	DIPLOMICS	Национальная исследовательская инфраструктура, инвестирующая в NGS- и другие омик-платформы по всей ЮАР (включая геномные узлы типа CPGR и SAMRC), обеспечивает доступ к современным технологиям и поддерживает проекты по 1KSA и другим программам массового секвенирования.

Россия	Genotek	Ведущая российская генетическая лаборатория: предлагает полное секвенирование генома (>99% генетической информации) и полноэкзомное секвенирование на Illumina NovaSeq 6000 с выдачей сырых данных (файлы ~30 МБ) и клинической интерпретацией, формирует крупные базы геномных данных россиян.
	Atlas Biomed / «Атлас»	Биомедицинский холдинг, запустивший потребительские генетические тесты и услуги «Полный геном», анализирует сотни показателей (риски заболеваний, фармакогенетика, происхождение) и опирается на постоянно растущую базу полногеномных ассоциаций и собственный алгоритмический движок для интерпретации геномных данных.
	Genetico	Резидент «Сколково», крупная медико-генетическая лаборатория: выполняет NGS-секвенирование генома и экзона человека, диагностические панели и клиническую интерпретацию, участвует в развитии российского рынка полногеномного и полноэкзомного тестирования.
	Genomed	Медико-генетический центр, предлагающий полное секвенирование генома (GenomeUNI, в том числе с выдачей FASTQ) и экзона, а также панели и НИПТ, крупный провайдер клинического NGS с собственной биоинформатикой и большим потоком геномных данных.
	EVOGEN	Инновационная российская компания, позиционирующая себя как лидер в области геномных исследований: широкий спектр генетического тестирования (включая НИПТ и онкогенетику) и программы персонализированной медицины на основе массивов полногеномного секвенирования десятков тысяч образцов.
	Геноаналитика	Многофункциональная молекулярно-генетическая лаборатория, резидент Научного парка МГУ и ЦКП «Сколково»: оказывает услуги NGS-секвенирования на Illumina для персонализированной медицины и научных проектов, а также повторной интерпретации NGS-данных.
	Центр полногеномного секвенирования «Биотехнологический кампус»	Центр полногеномного секвенирования, созданный при поддержке «Роснефти» в рамках федеральной программы по генетическим технологиям, реализует инициативу «100 000+Я» по чтению 100 000 геномов россиян и созданию крупнейшей в стране базы для хранения и анализа полногеномных данных.
	Zenome	Российская платформа персональной геномики и децентрализованный маркетплейс геномных данных: предлагает продукты «Геном Базовый» и «Геном-Премиум» (WGS 5x/30x + глубокое секвенирование экзона) с хранением и обменом данных через блокчейн, поддержкой NGS-данных в форматах BAM/VCF и развитой экосистемой медико-геномных сервисов.
Иран	MyGenetics	Национальный центр генетических исследований из Новосибирска: под брендом MyGenetics выполняет ДНК-тесты по множеству панелей (питание, спорт, здоровье, микробиота), разрабатывает собственные реагенты и ПО для анализа, накапливая большие массивы генотипов и микробиомных профилей российской популяции.
	Iranian Biological Resource Center	Центр биоресурсов с компетенциями в NGS и “high-throughput” анализе: биоинформатическая обработка данных секвенирования/аннотация геномов, метагеномика/транскриптомика (как инфраструктурный игрок под большие массивы данных).
Индонезия	Biomedical & Genome Science Initiative	Национальная инициатива Минздрава по построению end-to-end геномной инфраструктуры (сбор, анализ, ответственное использование данных) для внедрения прецизионной медицины.
	SatuDNA	Государственный портал и банк данных на основе геномики как продолжение BGSi: сбор, хранение и использование геномных данных в системе здравоохранения.
ОАЭ	M42	Техно-медицинская группа из Абу-Даби, оператор Emirati Genome Programme и связанных инфраструктур (в т.ч. биобанк/health data services); обеспечивает промышленный контур сбора, хранения и анализа больших геномных данных для прецизионной медицины.
	G42 Healthcare (Omics Centre of Excellence)	OmICS-центр G42 Healthcare в Абу-Даби: высокоавтоматизированная площадка omics/геномики с большой вычислительной ёмкостью (обработка, хранение), используется для массового анализа данных (в т.ч. в рамках национальных геномных инициатив).

4. Предсказательная биоинформатика и «обратная генетика»

В сегменте биоинформатики основу технологий составляют алгоритмы обработки и интерпретации омикс-данных и промышленная автоматизация вычислительных процессов. На уровне первичной обработки используются пайплайны контроля качества и препроцессинга, выравнивание, сборка (alignment, de novo assembly), количественная оценка, а также вызов и нормализация вариантов с последующей аннотацией и приоритизацией. Для интерпретации применяются базы знаний и референсные панели, прогнозирование функциональных эффектов и патогенности, моделирование путей и сетей, интеграция multi-omics, включая single-cell и метагеномные профили. На уровне инженерии ключевую роль играют воспроизводимые системы и контейнеризация, контроль версий и трассируемость, каталоги метаданных, стандарты форматов и обмена, а также контуры безопасной работы с чувствительными данными. Быстро растет слой предсказательной биоинформатики, включающий ML, нейросети для приоритизации вариантов и полигенных риск-моделей, классификации опухолевых профилей, прогнозов резистентности у патогенов, а также структурной биоинформатики, что превращает биоинформатику из простого анализа в платформенную технологию для R&D и клиники. Отдельным расширением этого стека выступает функциональная геномика и обратная генетика как замыкающий контур, включающий вычислительный отбор мишеней и дизайн генетического вмешательства (CRISPR/Cas, CRISPRi/CRISPRa, RNAi, направленный мутагенез), оценка эффективности, анализ данных эксперимента с NGS-рид-аутом (ампликон-seq, WGS/WES/RNA-seq, single-cell/perturb-подходы). Такой цикл позволяет не только находить ассоциации, но и подтверждать причинность и валидировать терапевтические мишени.

Россия. Российская биоинформатика в основном встроена в рынок клинических и потребительских генетических услуг: лаборатории выполняют полное секвенирование генома, экзона и интерпретируют результаты, формируя собственные базы данных. Выделяется направление прикладных программных решений: развиваются облачные платформы, которые автоматизируют интерпретацию результатов секвенирования от исходных файлов до медицинского отчета, а также системы для геномных центров и биобанков. В параллельном контуре развивается предсказательная биоинформатика для разработки лекарств (прогноз биологической активности, генерация и оценка молекул и пептидов). На фоне развития предсказательной биофармы усиливается связка с функциональной геномикой: результаты ML-приоритизации мишеней и молекул дополняются экспериментальной проверкой гипотез через обратную генетику с последующим секвенированием и биоинформатическим разбором эффекта.

Китай. Биоинформатика в Китае развита как промышленная отрасль: крупные провайдеры высокопроизводительного секвенирования обеспечивают массовую обработку геномов, транскриптомов и метагеномных данных, включая онлайн-анализ больших массивов секвенирования. В клиническом контуре сильнее всего выделяется онкология, компании строят масштабные базы опухолевых мутаций и поддерживают интерпретацию результатов для подбора терапии и мониторинга заболевания. Отдельно сформирован государственный слой управления данными, национальные центры и репозитории обеспечивают архивирование, систематизацию и интегративный анализ больших наборов омикс-данных. Параллельно растёт направление предсказательных вычислений (искусственный интеллект в биологии и разработке лекарств) как отдельный продуктовый слой над накопленными данными. Параллельно с ростом AI-слоя формируется контур функциональной валидации.

Индия. Индийская биоинформатика строится вокруг клинического секвенирования и сервисных услуг: лаборатории и компании выполняют геномные исследования и предоставляют анализ данных для науки и индустрии. Важным государственным блоком является создание национальных референсных ресурсов и каталогов генетических вариантов, которые улучшают точность интерпретации для индийских популяций. Активно развивается геномный надзор за инфекциями (в частности, туберкулёз): секвенирование большого числа изолятов сопровождается аналитикой мутаций лекарственной устойчивости и привязкой результатов к эпидемиологическим задачам. Дополняет это ниша вычислительной биофармы: компании разрабатывают предсказательные модели для поиска и оптимизации лекарственных кандидатов. Развиваются

научный и техно-биологический контур, где вычислительные модели сочетаются с экспериментальной проверкой.

Бразилия. В Бразилии биоинформатика опирается на сочетание национальных программ и сильного частного клинического сектора. Государственные инициативы формируют инфраструктуру и стандарты для прецизионной медицины, включая создание больших когорт и общих хранилищ данных. Частные геномные центры выполняют экзомное и полногеномное секвенирование и поддерживают собственную биоинформатику, а отдельные платформы автоматизируют интерпретацию генетических вариантов для клинической практики. Активно развиваются направления, связанные с сельским хозяйством.

ЮАР. В ЮАР биоинформатика наиболее заметна в области геномики патогенов и задач общественного здравоохранения: центры секвенируют патогены и обеспечивают аналитические инструменты, позволяющие быстро выявлять новые варианты и отслеживать распространение. Параллельно развиваются мощности для анализа человеческих геномов и других омикс-данных: есть специализированные центры и национальная исследовательская инфраструктура, поддерживающая доступ к технологиям и вычислительным ресурсам. В стране также присутствуют игроки, фокусирующиеся на методах анализа африканской генетической вариативности и прикладных предсказательных выводах на основе ДНК-данных.

Иран. Развитие биоинформатики в стране в первую очередь происходит через государственную инфраструктуру биоресурсов и регламентацию доступа и хранения: биоинформатика выступает обслуживающим слоем для исследований, а не отдельным массовым рынком коммерческих платформ.

Эфиопия. Приоритетом страны является патогеномика и геномный надзор: биоинформатика развивается как прикладная аналитика для задач здравоохранения, часто при поддержке международных программ и через внедрение стандартизированных практик геномной эпидемиологии.

Индонезия. Используется государственный сквозной подход: страна оформляет контур прецизионной медицины, где биоинформатика встроена в систему сбора, хранения и использования геномных данных на уровне государства, в первую очередь в институтах и университетах.

На рисунке 4.1 представлены компании и страны БРИКС, владеющие технологиями анализа больших геномных данных



Рисунок 4.1 – Уровни владения технологиями анализа больших данных, биоинформатикой и «обратной генетикой» странами БРИКС

В таблице 4.1 представлены ключевые компании стран БРИКС, включенными в разработку и использование этих технологий

Таблица 4.1 – Компании стран БРИКС, владеющие технологиями предсказательной биоинформатики и «обратной генетики»

Страна	Название компании	Описание
Китай	Genetron Health	Платформа прецизионной онкологии, сочетающая молекулярный профилинг рака и анализ больших данных/ML по всей «онкологической траектории» пациента.
	Baidu PaddleHelix	Био-вычислительная платформа Baidu для предсказательных моделей в вычислительной биологии. Выполняет задачи AI-drug discovery, оценку свойств молекул, предсказания взаимодействий и структурной биоинформатики, в т.ч. белковые модели.
	DP Technology	Китайская компания, развивает предобученные модели для предсказания молекулярных свойств и документирования, генерации, вычислительных сложных задач R&D.
	MindRank	AI-биофарм платформа, использует собственные разработки для предсказательного дизайна малых молекул и ускорения ранней стадии drug discovery.
	BioMap	Компания, строящая foundation-модели для life sciences: предсказание, генерация белков и поиск закономерностей в биоданных для R&D.
	Hangzhou Juno Genomics	Клиническая и исследовательская платформа анализа геномных данных, выравнивание, variant calling, аннотация, фильтрация и интерпретация
	Tianrang	Китайская AI-компания из Шанхая. Известна разработками в предсказании белковых структур как часть вычислительной биоинформатики.
Индия	Strand Life Sciences	Индийская компания, выросшая из биоинформатического спин-оффа IISc, сочетает собственный CAP-аккредитованный NGS-центр и сильную платформу для анализа сложных геномных и клинических данных.
	Pepttris Technologies	AI-платформа для preclinical drug discovery, предсказательные модели для поиска и оптимизации кандидатов и ускорения ранней разработки.
	Prescience InSilico Pvt	Компания, развивающая AI, ML, вычислительное моделирование, а также платформу для AI-driven drug discovery.
	immunitoAI	TechBio-платформа AI-предсказания и генерации антител с заданными свойствами с последующей валидацией.
	PopVax	Индийская biotech-компания, развивающая ML-driven дизайн вакцин и иммунных конструкций, разрабатывая предсказательные модели на стыке белкового дизайна и экспериментальной проверки.
	Aragen Life Sciences	Компания вычислительной химии и информатики, развивающая AI/ML-driven подходы для ускорения drug design.
Бразилия	VarStation	Облачная платформа клинической биоинформатики для NGS: обработка и интерпретация вариантов и поддержка воспроизводимых пайплайнов анализа.
ЮАР	SANBI	Национальный институт биоинформатики (Университет Западного Капа), разрабатывает вычислительные методики и HPC-инфраструктуру для ускорения анализа геномных данных человека, патогенов и др.
	bixbio	Базирующаяся в ЮАР deep-tech компания в биоинформатике, развивает ИИ, статистические инструменты и референсные датасеты для более точного анализа африканской генетической вариативности и задач drug discovery, таргет-идентификации.
	Next Biosciences	Южноафриканская biotech-компания с направлением генетического тестирования и скринингов, где ключевой ценностью является интерпретация ДНК-данных в прикладные предсказательные выводы.
Россия	TestGen	Облачная платформа предсказательной клинической биоинформатики: автоматизирует интерпретацию NGS «от сырых данных до отчета», использует AI и хранит/обрабатывает данные в российских дата-центрах.
	«Геном Эксперт»	Российский разработчик цифровых решений для генетики, системы для геномных центров, лабораторий, биобанков и алгоритмическая поддержка интерпретации и структурирования генетических данных.
	Лаборатория клинической биоинформатики	Российская команда, выполняет глубокую интерпретацию экзонов, геномов, панелей, решает задачи поиска причин заболеваний, приоритизация вариантов.
	Way2Drug	Платформа предсказания биологической активности соединений.
	PeptiGen	Российская AI-платформа для генерации и скрининга пептидных молекул, включая майнинг пептидов из геномов и протеомов, резидент кластера «Сколково».

Иран	OmicsDade	Платформа/компания, предлагающая биоинформатические услуги (в т.ч. анализ данных) и обучение в области биоинформатики. (omicsdade.com)
	Pars Human Gene	Иранская компания, заявляющая специализацию на анализе больших биологических данных и услугах NGS, сформированная командой со компетенциями в биоинформатике.
Эфиопия	EpiGen Ethiopia	Проект по построению масштабируемой системы геномной эпиднадзорной аналитики. Занимается подготовкой кадров, анализом геномных данных и связкой геномики с метаданными для решений в здравоохранении.
	Armauer Hansen Research Institute	Институт, который разворачивает мощности whole-genome sequencing в стране и поддерживает исследования, выступая как один из ключевых узлов генерации и анализа геномных данных.
	Tigray Pathogen Genomics and Bioinformatics Center	Региональный центр патогеномики: WGS/таргетное секвенирование, создание пайплайнов для расследования вспышек и мониторинга AMR.
Индонезия	Eijkman Research Center	Национальная исследовательская инфраструктура с фокусом на обработку данных WGS и биоинформатику для задач инфекций, вакцин, лекарств.
	INBIO Indonesia	Индонезийский институт, сфокусированный на биоинформатике (развитие компетенций и исследовательская деятельность).
Египет	EgyBIOME	Передовая биотехнологическая компания, специализирующаяся на исследованиях микробиома, анализе микробных экосистем и их влияния на здоровье

5. Сенсорика живых организмов и систем

Сенсорика живых организмов (оценка и мониторинг) — это комплексная технология, объединяющая биосенсоры и носимые устройства для непрерывного, неинвазивного анализа физиологических параметров человека и животных в реальном времени. Биосенсоры (электрохимические для глюкозы/вирусов, оптические маяки ДНК, генетически-кодированные) выявляют биомаркеры в биожидкостях, обеспечивая экспресс-РОС-диагностику и терапию. Носимые устройства (умные часы, кольца, одежда) используют мультисенсорные платформы для непрерывного сбора биометрии и позволяют неинвазивно измерять давление, глюкозу, температуру, уровень стресса и т.д.

Китай — абсолютный глобальный лидер рынка умных носимых устройств. Huawei заняла первое место по поставкам умных часов во втором квартале 2025 года с долей рынка около 21%², опередив бессменного лидера Apple. Рынок биосенсоров сочетает коммерцию и передовую науку и интегрирован в носимые устройства и РОС-диагностику (Point-of-Care diagnostics), с фокусом на электрохимические сенсоры (73% рынка)³. Шанхайский институт точной механики и оптики (SIOM) разрабатывает квантовые сенсоры в коллаборации с МИФИ, университет Дунхуа — NeuroWorm (имплантируемое микроволокно для физиомониторинга). Госпрограммы «Здоровый Китай 2030» стимулируют субсидии на борьбу с ожирением и диабетом.

Россия сочетает импорт китайских девайсов Huawei, Xiaomi с локальными разработками: умное кольцо SberDevices (GigaChat AI для сна/стресса/SpO2), нейротреккер Neuron (HRV/глюкоза), браслет Healbe (авто-калориметр). Технология биосенсоров по большей части представлена научными проектами, в том числе с международным участием (Индия, Китай). Российские стартапы фокусируются на импортозамещении, которое ускоряется БИОПРОМ-2025 и телемедициной («СберЗдоровье»), обеспечивая переход от НИОКР к коммерциализации.

Индия занимает второе место в Азиатско-Тихоокеанском регионе по биосенсорам благодаря инновациям, производственным мощностям и госпрограммам⁴. Рынок носимых устройств для мониторинга здоровья характеризуется активным развитием как местных, так и международных игроков. Местные компании, такие как Goqii и Ultrahuman, развивают комплексные платформы с интеграцией AI и биосенсорики, но глобальные бренды (например, Fitbit) занимают большую долю рынка. Индийские стартапы ориентируются больше на инновации в области удаленного мониторинга пациентов.

В **ОАЭ** рынок носимых устройств для здоровья ориентирован на премиум-сегмент и RPM-интеграцию с глобальными брендами; локальных разработчиков мало. Компании фокусируются на дистрибуции/локализации с AI-аналитикой для телемедицины. ОАЭ лидирует на рынке биосенсоров Ближнего Востока и Африки (MEA) благодаря инвестициям в здравоохранение и Vision 2031 (национальная стратегия ОАЭ на 2025–2031)⁵.

В **ЮАР** биосенсорные разработки ведутся в рамках академических и государственных центров; фокус на РОС-диагностике инфекций (ВИЧ, туберкулез), диабете и окружающей среде. Многие проекты с международным сотрудничеством России. На рынке носимых умных устройств для мониторинга здоровья доминируют глобальные бренды (Apple, Fitbit, Garmin/Oura), локальные компании VitalLink/Medhold фокусируются на RPM-платформах и медицинских носимых устройствах с интеграцией телемедицины.

Индонезия, Бразилия, Иран, Египет, Эфиопия имеют схожую картину по рынкам и пока не растут так быстро, как вышеперечисленные страны. Характеризуются импортом носимых устройств (Huawei, Xiaomi, Fitbit). Локальные компании — дистрибьюторы и платформы с интеграцией (Иран: Pars Mehr smart-часы; Бразилия: Vitalera RPM с Garmin). Технология биосенсоров ограничена немногочисленными локальными R&D проектами. Например, National Research Centre в Египте (исследования геномики, протеомики и метаболомики для диагностики

² Global Smartwatch Market Q2 2025 [Электронный ресурс] / Counterpoint Research. — URL:

<https://counterpointresearch.com/en/insights/global-smartwatch-market-q2-2025> (дата обращения: 17.09.2025)

³ <https://www.china-briefing.com/news/investing-in-chinas-wearable-medical-devices-market-trends-and-opportunities/>

⁴ <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/biosensors-market/india>

⁵ <https://www.researchnester.com/ru/reports/biosensors-market/5832>

инфекций), Университет Индонезии с Ustar Biotech, Китай (совместные исследования технологий молекулярной диагностики). В Эфиопии проект в области неонатологии Tikur Anbessa Specialized Hospital совместно с Bill & Melinda Gates Foundation (США) по разработке мягкого сенсора для младенцев.

На рисунке 5.1 представлены уровни владения сенсорными технологиями стран БРИКС



Рисунок 5.1 – Уровни владения сенсорными технологиями по странам БРИКС

Список компаний стран БРИКС и научных центров в области сенсорики представлен в таблице 5.1

Таблица 5.1 - Компании стран БРИКС, представленные в секторе сенсорики живых систем и организмов

Страна	Название компании	Описание
Россия	ООО «Спектр-М»	Изготавливает SERS-активные биосенсоры на наночастицах серебра для определения возбудителей вирусных заболеваний
	МФТИ (Московский физико-технический институт)	Создает "умные" биосенсоры на молекулярных маяках для детекции ДНК и наночастиц в физиологических средах, для диагностики и терапии.
	ИБХ РАН (Институт биохимии и физиологии клеток РАН)	Разрабатывает генетически-кодированные биосенсоры (например, Hypocrates) для визуализации воспалительных процессов и гипогалогенных кислот.
	Лаборатория биосенсоров ИБФМ РАН	Фокусируется на биоаналитических устройствах на ферментах и микробных клетках для медицинского и экологического мониторинга.
	УрФУ, совместно с китайскими и индийскими университетами	Разработка биосенсорных наноматериалов для обнаружения патогенов.
	Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН (Москва).	Разработали многоуровневое устройство для быстрого выявления вирусов в биологических жидкостях человека.
	Сеченовский университет, ООО «Нейрософт»	Биосенсорное нательное устройство длительного мониторинга ЭКГ «РИТМ-1».
	ООО «СалютДевайсы», SberDevices	Первое российское умное кольцо: пульс, SpO2, сон, стресс, активность; AI GigaChat для рекомендаций, интеграция СберЗдоровье.
	ООО «НЕЙРОКС»	Нейротрекер с мониторингом здоровья: уровень стресса, HRV, сахара в крови.
	Центр компетенций НТИ «Бионическая инженерия в медицине» на базе СамГМУ	Одежда для спортсменов с функцией ЭМГ (электромиографии), имеет вибромоторы обратной связи

	ООО «Хилби», Healbe	Браслет с автоматическим счетчиком калорий, усвоенных из еды и напитков, оценкой нехватки воды и уровня нервного напряжения
Индия	Национальный технологический институт Руркела (NIT Rourkela)	Разработал полупроводниковый биосенсор для ранней диагностики рака груди по диэлектрическим свойствам клеток.
	Институт химических технологий (Institute of Chemical Technology, ICT Mumbai)	Проводит исследования в сенсорике и биохимии, включая лекции и совместные проекты по биосенсорам.
	Университет Джамия Миллия Исламия (JMI, Jamia Millia Islamia)	Создает лаборатории нанотехнологий для синтеза углеродных нанотрубок и сенсоров, включая биосенсоры; сотрудничает с российскими вузами.
	Университет Парул (Parul University)	Работает над сенсорами на основе иерархических наноматериалов и тетраподов оксида цинка для биомедицинских применений.
	Gogii	Платформа с фитнес-трекерами и смарт-часами, телемедициной, коучингом здоровья и AI-анализом данных.
	Ultrahuman	Смарт-биосенсоры и кольца с мониторингом глюкозы, активности и сна с AI-аналитикой.
	Benovymed Healthcare	DeepTech healthtech стартап с решениями для дистанционного мониторинга и анализа здоровья.
	Avkalan Labs	Инновации в носимых устройствах с AI для помощи при заболеваниях Паркинсона и улучшение мобильности.
	PAQS Pvt Ltd.	Компания разрабатывает решения для цифрового здравоохранения, где носимые устройства (IoT) собирают данные о дыхании/здоровье, AI/ML анализируют их для ранней диагностики респираторных заболеваний (астма, ХОБЛ, COVID)
Бразилия	Университет Сан-Паулу (University of São Paulo)	Создан портативный биосенсор для диагностики психических расстройств по анализу белка BDNF в слюне. Разработка совместно с Embrapa Instrumentação (Бразильская корпорация сельскохозяйственных исследований), нацелена на недорогие и точные сенсоры для диагностики и контроля лечения.
	Федеральный университет Сан-Карлоса	Открыт новый ген, используемый для создания биосенсоров, способных отслеживать изменения в биологических системах.
	Vitalera (VitalSign project)	Платформа RPM с Garmin смарт-часами для мониторинга SpO2, HR, сна, дыхания у пациентов на кислородной терапии; партнерство с VitalAire Brazil.
	Medixine (RPM solution)	Интеграция Garmin для хронических заболеваний; мониторинг HR, активности, сна.
Иран	Штаб по развитию нано-и микротехнологий Ирана (Iranian Nano and Microtechnologies Development Headquarters)	Координирует разработки в микроэлектронике, сенсорах и нанотехнологиях, включая биосенсоры; сотрудничает с российским ЗНТЦ по контрактным производствам и обмену компетенциями.
	Ширазский университет (Shiraz University)	Проводит исследования в лабораториях робототехники, нефтегазовых сенсоров и промышленной кибербезопасности с использованием датчиков; организует стажировки по IoT и системам мониторинга.
	Парк науки и технологии провинции Фарс (Fars Technology and Science Park, FTSP)	Разрабатывает импортозамещающие сенсоры, включая эндоскопы, системы мониторинга вибраций и программируемые контроллеры с биомедицинским потенциалом.
	ProOne	Смарт-часы PWS-серии (PWS06, PWS13): HR, SpO2, сон, GPS, водозащита IP68, спорт-режимы, звонки.
	Pars Meh, MEHR	Производит смарт-часы и фитнес-браслеты с мониторингом HR, сна, шагов, калорий, уведомлениями; бренд MEHR.

	Rozhin Pajoohan, Lanoo	Смарт-часы Lanoo: GPS, HR, сон, спорт-режимы, музыка, уведомления.
	Asiaye Elektroniki Asia / ASIA SMART WATCH	Смарт-часы ASIA SMART WATCH с HR, GPS, сном, тренировками, Bluetooth-звонками.
Китай	Шанхайский институт точной механики и оптики (SIOM)	Ведутся исследования в области квантовых сенсоров и нанобиотехнологий, в сотрудничестве с российскими вузами, включая НИЯУ МИФИ и Пекинский университет.
	Шанхайский университет Дунхуа (Donghua University)	Разработка биосенсора NeuroWorm. Мягкое эластичное микроволокно для имплантации и мониторинга физиологических процессов в организме.
	Huawei	Лидер рынка с Huawei Watch GT, Band 10: мониторинг сердца, SpO2, сна, стресса, ECG, >20 биометрий, AI-анализ.
	Xiaomi (Huami/Amazfit/Zepp)	Amazfit, Mi Band: фитнес-трекеры, смарт-часы с HR, GPS, SpO2, сном; 120+ млн продаж глобально.
	iSmarch (Aurora)	Компания разрабатывает и производит смарт-часы и фитнес-трекеры по индивидуальным заказам брендов (OEM/ODM), оснащенные мониторингом сердечного ритма (HR — Heart Rate), отслеживанием сна; имеет более 10 производственных линий.
	Eternity Electronics	Компания производит фитнес-трекеры и смарт-часы по индивидуальным заказам брендов (OEM/ODM), с функциями мониторинга физической активности (шаги, калории) и здоровья (сердечный ритм, сон, SpO2).
	Fitcare Electronics	Bluetooth HR-мониторы, фитнес-трекеры для здоровья.
	Wonlex	GPS смарт-часы/браслеты с мониторингом здоровья для детей/взрослых.
ОАЭ	PureHealth	Крупнейшая биотехнологическая и диагностическая компания в ОАЭ, занимается лабораторной диагностикой и инвестирует в цифровые и персонализированные решения. Компания имеет лаборатории и развивает диагностические технологии, включая биосенсорные решения.
	Integrated Gulf Biosystems (IGB)	Поставщик инновационных платформ для молекулярной диагностики, исследований и клинических решений, в том числе для наследственных и инфекционных заболеваний, что включает и биосенсорные технологии.
	Bio-Sensing and Bio-Sensors Research Group (RISE, University of Sharjah)	Научная группа при Университете Шарджи разрабатывает и внедряет новые биосенсоры на исследовательском уровне.
	Babirus LLC	Распространяют решения SD BIOSENSOR на рынке ОАЭ, в том числе тест-системы для иммуно-диагностики на основе биосенсоров.
	Noon Health	Телемедицина с интеграцией смарт-часов для HR, SpO2, сна; партнерства с Garmin/Fitbit.
	OKADOC	RPM-платформа с носимыми устройствами для кардио/диабета; мониторинг в реальном времени.
Эфиопия	Tikur Anbessa Specialized Hospital (Аддис-Абеба, Эфиопия) совместно с Georgia Tech (США) и Bill & Melinda Gates Foundation (США)	Разрабатывают низкостатратный wireless wearable сенсор (мягкий "Band-Aid" на грудь младенца) для непрерывного мониторинга температуры, пульса, дыхания и уровня кислорода у новорожденных в условиях низких ресурсов. Пилотное тестирование на 50 младенцах в неонатальном отделении больницы CDT-Africa (Center for Innovative Drug Development and Therapeutic Trials for Africa) начато в 2020 году; в 2025 вышла публикация о nanopore-системе для реального времени мониторинга с интеграцией в смартфоны и тревогами для гипотермии, апноэ и сепсиса. Эфиопская команда: Asrat Demtse (неонатолог) и Abebaw Fekadu (CDT-Africa)
	Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR)	Изучает биосенсорные технологии в биотехнологиях для агро-мониторинга (патогены растений, почва)
Индонезия	Университет Индонезии (UI) с Ustar Biotech (Китай)	Центр будет проводить совместные исследования технологий молекулярной диагностики, разработку продуктов, клинические испытания, трансфер технологий и локальное производство, с подготовкой кадров и сетью лабораторий. Ustar Biotech предоставляет платформу для быстрого выявления патогенов (на основе молекулярных методов, аналогичных CRISPR или LAMP с сенсорным readout), интегрируя биосенсорные элементы для bedside-тестирования.

	Bandung Institute of Technology (ITB)	Bandung Institute of Technology (ITB) ведет исследования в микро- и нанофлюидных системах, биоматериалах и сенсорных технологиях через School of Bioengineering, Faculty of Industrial Technology и ITB Nanotechnology Research Center в рамках национальных программ BRIN (National Research and Innovation Agency).
	PT. Go-Jek Indonesia (GoTo)	Gojek Health платформа с носимыми устройствами для мониторинга хронических заболеваний.
	PT. Telekomunikasi Indonesia (Telkom)	Телемедицина с интеграцией смарт-часов для HR, активности; партнерства с Garmin/Fitbit.
Египет	National Research Centre (NRC, Каир)	Исследования геномики, протеомики и метаболомики для диагностики инфекций (гепатит, шистосомоз); публикации по биосенсорам и NGS для патогенов.
ЮАР	Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)	Биосенсоры для экспресс-диагностики патогенов, нанотехнологии; коммерциализация через Mintek (Council for Mineral Technology).
	iThemba LABS	Радиационные биосенсоры, коллаборации по ядерной медицине с ОИЯИ.
	University of Cape Town (UCT)	Биофотоника и AI-биосенсоры для тканей; проекты по регенеративной медицине с Сеченовским университетом.
	National Research Foundation (NRF)	Финансирование биосенсоров для здравоохранения, партнерства с Россией/БРИКС.
	Medhold (GE Portrait Mobile)	Медицинские носимые устройства для непрерывного мониторинга (RR, SpO2, PR); мобильность пациентов в больницах.
	VitalLink	RPM-платформа с носимыми сенсорами (ECG, SpO2, температура, давление); реальное время для клиник, хронических пациентов.