

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

© 2019 г. М.В. Ковальчук*, О.С. Нарайкин**, Е.Б. Яцишина***

Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия

**E-mail: Koval@nrcki.ru; **E-mail: Naraikin_OS@nrcki.ru;*

****E-mail: Yatsishina_EB@nrcki.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 11.12.2018 г.
Принята к публикации 17.01.2019 г.

В статье излагается концепция создания природоподобной техносферы как закономерного этапа научно-технологического развития цивилизации. Исследуются проблемы и результаты формирования конвергентных НБИКС-технологий как инструмента создания природоподобной техносферы. Рассматриваются задачи, решение которых необходимо для ускоренного развития природоподобных технологий в России.

Ключевые слова: стратегические и тактические приоритеты, природоподобные технологии, природоподобная техносфера, конвергентные нано-, био-, инфо-, когнитивные и социогуманитарные (НБИКС) технологии, исследовательские установки класса мегасайенс, генетические технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>

Важнейшим стимулом развития цивилизации служат глобальные (большие) вызовы. Они определяют, в частности, приоритеты научно-технологического развития, которые с учётом масштаба и глубины их влияния на социально-экономические процессы делятся на две категории — тактические и стратегические. Первые определяют ближнесрочную перспективу, обеспечивая потребности дня сегодняшнего, вторые ориентированы на средне- и долгосрочную перспективу, обеспечивают создание принципиально новых прорывных технологий, приводят к смене технологического уклада. При формировании и реализации научно-технической политики государства чрезвычайно важно соблюсти правильное соотношение приоритетов этих двух категорий: в отсутствие тактических приоритетов "будущее" может не наступить, а отсутствие стратегических приоритетов лишает смысла решение тактических задач.

Ярким примером точного баланса между стратегией и тактикой служит ситуация конца Второй мировой войны [1]. Реализуя тактические приори-

ритеты, то есть создавая и производя всё больше эффективного вооружения и военной техники, СССР выиграл войну. К весне 1945 г. Советская армия была самой мощной, боеспособной и технически оснащённой армией мира. Но уже в августе 1945 г. этой мощи был брошен вызов — атомные бомбардировки Соединёнными Штатами Америки Хиросимы и Нагасаки, он и определил принципиально новый стратегический приоритет. И если бы Советский Союз не приступил к осуществлению Атомного проекта в тяжелейшую для страны осень 1942 г., образовав Урановый комитет, а через полгода — Лабораторию № 2 под руководством И.В. Курчатова, победа во Второй мировой войне была бы обесценена и само существование нашей страны оказалось бы под вопросом. Но ценой невероятных усилий СССР создал ядерное оружие и средства его доставки, обеспечив на многие десятилетия мир на Земле.

Важной особенностью глобальных стратегических приоритетов является то, что в ходе их реализации происходят революционные изменения всей научно-технологической базы цивилизации, формируется принципиально новый технологический облик мира и, как следствие, новая геополитическая реальность. Атомная энергетика, производство изотопов, атомный подводный и ледокольный флоты, уникальные исследовательские установки мега-класса, ракетно-космическая техника, инфокоммуникационные технологии,

КОВАЛЬЧУК Михаил Валентинович — член-корреспондент РАН, президент НИЦ "Курчатовский институт". НАРАЙКИН Олег Степанович — член-корреспондент РАН, вице-президент НИЦ "Курчатовский институт". ЯЦИШИНА Екатерина Борисовна — кандидат философских наук, заместитель директора НИЦ "Курчатовский институт".

новое материаловедение, ядерная медицина – вот далеко не полный перечень отраслей техники и технологий, рождённых Атомным проектом [1].

В результате осуществления советского Атомного проекта были созданы практически все основные отрасли научно-технологического комплекса, которые сформировали новый геополитический облик СССР как мировой сверхдержавы. Эти отрасли и сегодня обеспечивают национальную безопасность и устойчивое положение нашей страны в группе мировых технологических лидеров.

Сегодня мы сталкиваемся с новым вызовом, связанным с проблемой устойчивого развития цивилизации, для обеспечения которого человечеству требуется огромное, всё возрастающее количество энергии и ресурсов, прежде всего питьевой воды, продуктов питания, биоресурсов.

Система расширенного воспроизводства и потребления, сформировавшаяся после Второй мировой войны, была достаточно эффективной с позиций обслуживания нужд "золотого миллиарда". Однако вовлечение в систему современного промышленного производства всё большего количества стран привело человечество на грань ресурсного коллапса, о чём свидетельствует нарастающая борьба за истощающиеся ресурсы, – именно она теперь доминирует в мировой политике. Важно подчеркнуть, что главным оружием в этой борьбе становится технологическое превосходство, поддерживаемое прямой военной силой, а обычная военная колонизация сменяется технологическим порабощением, причём его объектом могут стать и развитые страны.

Причина современного кризиса кроется в антагонизме природы и техносферы, сформированной за последние 300 лет. Создавая нашу цивилизацию, взаимодействуя с природой, человек вёл себя не как её неотъемлемая часть, а как господствующая сила, выкачивающая природные ресурсы. При этом по мере роста масштабов производственной деятельности её негативное влияние на биосферу возрастало, приблизившись сегодня к критическому порогу [2–4]. В результате человеческая цивилизация, достигнув, бесспорно, высокого уровня развития, заплатила за это неприемлемую ресурсную, в первую очередь энергетическую цену. Именно глубинное противоречие между техносферой и природой обусловило всё возрастающую угрозу ресурсного голода и риски экологических, климатических, техногенных катастроф.

Проиллюстрируем сказанное примерами. История развития науки, прежде всего физики, показывает, что конечным результатом всё более глубокого проникновения в свойства материи было открытие новых видов энергии: термоди-

намика – энергия пара (паровая машина); электродинамика – электроэнергия (электрогенератор, электродвигатель); физика атома – ядерная энергия, термоядерная энергия (атомный и термоядерный реакторы). В процессе этого развития эффективность генерации энергии выросла более чем в 3 млн раз. Однако потребление энергии человечеством росло быстрее, чем генерация. Техносфера сегодня чрезвычайно энергозатратна. Так, на обработку и распознавание одного простого речевого запроса, отправленного со смартфона, затрачивается энергия, достаточная для кипячения 1 л воды (около 0,1 кВт·ч).

Ещё один пример связан с решением важнейшей задачи формирования цифровой экономики. По данным Международного энергетического агентства, к 2025 г. доля потребления энергии сетевой инфокоммуникационной сферой (оконечные устройства, пользовательское сетевое оборудование, сетевые коммуникации, дата-центры) без производственной информационно-вычислительной инфраструктуры превысит 30% мирового производства электроэнергии [5], что создаст уже в ближайшей перспективе серьёзные энергоресурсные ограничения для цифровой экономики.

Природа же, миллионы лет существующая в рамках замкнутого самосогласованного ресурсооборота, не знает ресурсных кризисов и энергетического голода. Объяснение – в поразительной сбалансированности природной системы и чрезвычайно высокой энергоэффективности природных объектов. Так, человеческий мозг, благодаря возможностям которого и создана уникальная земная цивилизация, потребляет не более 30 Вт, а современная супер-ЭВМ – десятки мегаватт (МВт). При этом эффективность всех компьютеров мира не достигает эффективности мозга среднестатистического человека! Отсюда вывод: одного лишь повышения эффективности генерации недостаточно, нужны революционные изменения в технологиях потребления энергии.

В этом и заключается вызов, сформировавшийся к концу XX в., более глубокий и значительный, чем все предшествующие. Принципиальное его отличие состоит в том, что каждая из научно-технологических революций, происходивших в истории цивилизации, решала задачи радикального увеличения производительности труда и объёмов производства. Задача же новой научно-технологической революции – обеспечить сохранение самой цивилизации, повернув её развитие в иное русло.

Выход из кризиса возможен лишь путём создания техносферы, базирующейся на технологиях, воспроизводящих системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов, интегрированных в естествен-

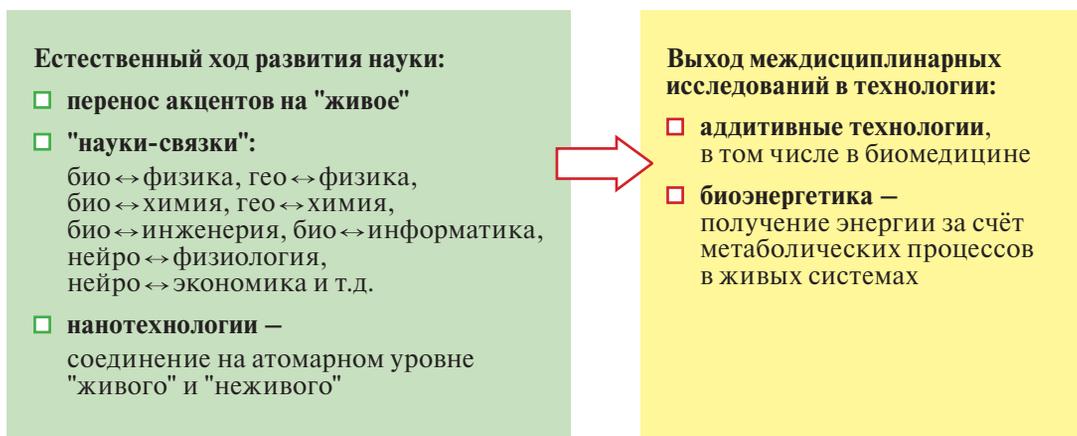


Рис. 1. Через междисциплинарность к природоподобию

ный природный ресурсооборот. Такие технологии мы называем природоподобными, и именно они должны лечь в основу принципиально новой технологической базы цивилизации. Иными словами, смысл создания природоподобной техносферы состоит в восстановлении своеобразного "обмена веществ" природы — естественного самосогласованного ресурсооборота, нарушенного сегодняшними технологиями, которые вырваны из естественного природного контекста.

Как сказал Президент РФ В.В. Путин в своём выступлении на 70-й сессии Генеральной ассамблеи ООН, для ответа на этот вызов "нам нужны качественно иные подходы. Речь должна идти о внедрении принципиально новых природоподобных технологий, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и позволят восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой. Это действительно вызов планетарного масштаба..." [6]. Указанное положение закреплено в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в качестве стратегического приоритета: "В долгосрочной перспективе особую актуальность приобретают исследования в области ... развития природоподобных технологий..." [7, с. 10].

Важно отметить, что природоподобие, природоподобная техносфера — это не искусственная умозрительная конструкция, а естественный, закономерный этап научно-технологического развития человечества [8]. Истоки идеи природоподобия так же, как и причины лишь недавнего её осознания, коренятся в особенностях процесса познания. Исторически познавательная и преобразующая деятельность человека развивалась от восприятия окружающей природы как непонятного, но единого целого через вычленение модельных сегментов природы, доступных анализу, и формирование узкоспециализированной науки к отраслевой организации экономики.

На начальных этапах этого пути существовал единый массив науки — натурфилософия. В дальнейшем из "натуральной" части выделились физика, биология, химия, другие естественные науки. Из "философской", ставшей инкубатором гуманитарных наук, — психология, социология, история, лингвистика. Это был закономерный процесс, сопровождавший первую промышленную революцию, эпоху географических открытий, когда вал новых знаний потребовал вычленения отдельных дисциплин. Двигаясь по пути углублённого познания окружающего мира, сопровождавшегося разделением предмета рассмотрения на всё более мелкие фрагменты, человечество, с одной стороны, детально изучило многие процессы, а с другой — утратило целостную картину мира [8–10].

С течением времени, на новом витке диалектической спирали начался обратный процесс — слияние наук. Истоки его относятся к концу XIX в., когда стали возникать науки-связки, например, биохимия, геохимия, биогеохимия и т. п. В дальнейшем развитие науки всё более определялось процессами интеграции и взаимопроникновения различных научных направлений, что привело к появлению и расширению сферы междисциплинарных исследований, вышедших сегодня в область технологий (рис. 1) [11].

Очень важно, что эти процессы распространились на сферу гуманитарного знания, которое соединяется с естественно-научным. Например, когнитивные исследования изначально проводились методами гуманитарных наук — лингвистики, психологии, социологии. Сегодня основным инструментарием когнитивных исследований служат позитронно-эмиссионная и компьютерная томография, магниторезонансная томография и другие физические методы. Получаемые результаты описываются в понятиях и терминах физики, математики, информатики и других естественно-научных дисциплин. Таким образом,



Рис. 2. Превращение гуманитарных знаний в технологии

происходит слияние гуманитарного и естественно-научного знания и на этой базе создаются технологии, технические устройства и системы, в которых моделируются природные когнитивные процессы (рис. 2).

С точки зрения поиска инструментов создания природоподобных технологий огромное научное и методическое значение имеют появление и бурное развитие наддисциплинарных, надотраслевых информационных и нанотехнологий. Информационные технологии рассматривают процессы хранения, обработки и передачи информации безотносительно к её природе. В этом смысле они связывают живое и неживое на информационном уровне. Нанотехнологии как методология конструирования материалов любого типа путём атомно-молекулярного манипулирования связывают живое с неживым на атомарном уровне. Таким образом, нано- и информационные технологии возвращают науку к восприятию целостной картины мира и служат основой для создания инструментария природоподобных технологий.

Сегодня уже общепризнано, что таким инструментарием служит конвергенция нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий (НБИКС-технологии), при этом каждая из них выполняет свои функции. Нанотехнологии, оперируя атомами и молекулами, позволяют получить принципиально новые вещества и материалы с заданными свойствами, используя для этого те же технологические приёмы, что и сама природа. Так, на основе аддитивных технологий появляется возможность выращивать изделие, а не получать его путём удаления с заготовки огромного количества лишнего мате-

риала, превращающегося в отходы [9, 12]. Симбиоз нано- и биотехнологий позволяет не только воспроизводить живую материю, но и создавать принципиально новые биоорганические материалы и структуры. Такие материалы уже используются, в частности, в медицине. Информационные технологии дают возможность воспроизводить в искусственных объектах природные процессы преобразования информации.

Двигаясь по пути синтеза природоподобных систем, человечество подойдёт к созданию антропоморфных технических систем с элементами сознания и способностью к познанию. Для решения этой задачи необходимы когнитивные науки и технологии. На следующем этапе речь пойдёт уже о создании сообщества антропоморфных устройств и систем, взаимодействующих друг с другом и с внешней средой, в том числе с человеком, и наделённых определёнными социальными функциями. Наконец, чтобы разумно и эффективно пользоваться возможностями конвергентных наук и технологий, необходима радикальная трансформация сознания самого человека как социального существа. Всё это возможно только на базе соединения нано-, био-, информационных, когнитивных технологий с достижениями социогуманитарных наук и технологий.

Используя конвергентные НБИКС-технологии, мы получаем возможность создать новую, гармоничную техносферу, построить новое человеческое общество. Однако природоподобные технологии, предоставляя человечеству шанс избежать ресурсного коллапса, определяют принципиально новые глобальные угрозы и вызовы. (Детальный анализ таких угроз содержится в до-

кладе М. В. Ковальчука Совету Федерации Федерального собрания Российской Федерации 30 сентября 2015 г.)

Опасности связаны с самим характером природоподобных технологий, построенных на возможности технологического воспроизведения систем и процессов живой природы. С точки зрения специальных применений, эта возможность открывает перспективу целенаправленного вмешательства в жизнедеятельность природных объектов, прежде всего человека, в том числе в процесс его эволюции, что представляет наибольшую опасность [13].

По используемой технологической базе и методам воздействия такое вмешательство можно разделить на два важнейших типа: биогенетическое, базирующееся на применении методов нанобиотехнологий, и когнитивное, основанное на конвергенции инфокогнитивных и социогуманитарных наук. Первое из них уже сегодня реализуется в технологиях синтетической биологии, позволяющих продуцировать искусственные живые системы с заданными свойствами, в том числе несуществующие в природе. Базовым элементом такой системы служит искусственная клетка, обладающая минимально необходимым набором генов, достаточным для жизни и размножения. Будучи "загруженной", в зависимости от желаемого результата, теми или иными функциональными блоками, такая клетка может быть как сверхэффективным лекарством, так и элементом оружия массового поражения, обладающего избирательным действием на различные этногенетические группы [1, 13]. Показательным примером новых угроз, связанных с созданием искусственных живых систем, служит возможность появления новых видов наркотических средств. Так, непригодный для извлечения морфина природный прицветниковый мак может быть превращён в его продуцент и использован для получения наркотиков [14].

Второй тип вмешательства связан с воздействием на психофизиологическую сферу человека с целью контроля и управления его сознанием и телом. В частности, активно разрабатываются принципиально новые мозго-машинные и мозго-мозговые интерфейсы, позволяющие формировать у человека заданное представление о действительности. Уже разрабатываются и создаются системы регулирования жизнедеятельности человеческого организма с целью изменения его функциональных возможностей и выживаемости в экстремальных ситуациях. В повестке дня — создание интегрированных человеко-машинных систем, управляемых извне. Существующая сетевая технологическая база (Интернет) позволяет достаточно эффективно управлять как индивиду-

альным, так и массовым сознанием, используя интегрированные технологии инфокогнитивных и социогуманитарных наук.

Риски, сопровождающие создание и развитие природоподобных технологий, многократно увеличиваются в силу ряда присущих им специфических особенностей. Вот важнейшие из них:

- двойственный характер технологий, размытые границы между гражданскими и военными применениями и, как следствие, неэффективность существующих средств и технологий контроля;
- доступность и относительная дешевизна технологий, возможность создания средств поражения даже в кустарных условиях, отсутствие необходимости в сложнейших и чрезвычайно дорогостоящих системах доставки;
- невозможность предугадать все последствия выхода искусственных живых систем в окружающую среду.

Степень доступности технологий уже такова, что даже крупные государственные структуры не всегда в состоянии обеспечить биологическую безопасность. Яркий пример непредсказуемости последствий выхода искусственных живых систем в окружающую среду — вытеснение ими своих природных аналогов, что ставит под угрозу естественное биоразнообразие. В частности, в Индии, США и Канаде зафиксированы случаи передачи от генно-модифицированных растений к дикорастущим видам устойчивости к гербицидам, что превратило их в "супер-сорняки" [15].

Необходимо отметить, что исследования и разработки по созданию природоподобных технологий интенсивно ведутся в ряде зарубежных стран. Так, в США, странах Европейского союза, Японии и других реализуются сотни проектов в этой области.

Первым ответом нашей страны на глобальный вызов XXI в. стала президентская инициатива "Стратегия развития nanoиндустрии", два этапа которой успешно реализованы в 2007–2015 гг. Задачу третьего этапа, начавшегося в 2016 г., документ определяет так: "Опережающее развитие принципиально новых направлений <...>, обеспечивающих создание в стране надотраслевой научно-образовательной и производственной среды в перспективе на ближайшие 10–20 лет.

Главным содержанием этого этапа станут разработка и создание:

- продукции нанобиотехнологий; гибридных устройств и приборов бионического типа;
- нанобиосистем и устройств, включая принципиально новые гибридные системы очувствления бионического типа;
- биоробототехнических систем" [16].



Рис. 3. Структура Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий

В ходе реализации первых двух этапов указанной президентской инициативы заложена идеологическая, кадровая и инфраструктурная база для развития природоподобных НБИКС-технологий. В частности, в НИЦ "Курчатовский институт" создан уникальный, не имеющий прямых аналогов в мире, центр конвергентных наук и технологий — Курчатовский комплекс НБИКС-природоподобных технологий. Исследовательско-технологическая база комплекса включает более 45 установок класса мегасайенс, среди которых (рис. 3):

- единственный на постсоветском пространстве специализированный источник синхротронного излучения;
- источники нейтронов, включая самый мощный в мире реакторный комплекс ПИК;
- суперкомпьютерный центр моделирования и обработки данных;
- уникальный комплекс биологических моделей;
- комплекс нейрокогнитивных и социогуманитарных технологий;
- комплекс технологий ядерной медицины и лучевой терапии;
- комплекс белковой кристаллографии;

- комплекс геномики, биоинформатики, синтетических биологических структур;
- комплекс гибридных материалов, структур, устройств и систем (микроэлектромеханические и нанозлектромеханические системы);
- комплекс сверхпроводимости;
- комплекс инновационной энергетики.

В этом центре на мировом уровне проводятся исследования и разработки по всему спектру конвергентных НБИКС-наук и технологий. Основной принцип организации деятельности центра состоит в формировании научно-технологической цепочки: от гибридных материалов, сочетающих живое и неживое, через биоподобные и искусственные биологические материалы, устройства и системы — к био- и антропоморфным техническим системам (рис. 4).

В настоящее время в НИЦ "Курчатовский институт" уже получен ряд технологически значимых результатов, в том числе в области создания искусственных биологических материалов, природоподобной генерации энергии и её потребления. Так, разработаны микро- и нанозлектронные устройства на основе полупроводниковых кристаллов, способные служить интерфейсами между биообъектом и компьютером в биогридных системах [17, 18].



Рис. 4. Схема организации деятельности Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий

Созданы прототипы биоподобных сенсорных и управляющих устройств, высокопроизводительных нейроморфных вычислительных систем, которые будут функционировать на принципах работы человеческого мозга. На основе мемристовых материалов, обладающих электросопротивлением с эффектом памяти, создаются устройства, моделирующие синаптические контакты в нервной системе. Будучи объединёнными в сеть из искусственных и/или живых нейронов с подходящей архитектурой и топологией мемристовых связей, такие системы могут воспроизводить нейроморфные принципы распознавания образов, оценки и принятия решений, динамического управления и т. п. Таким образом, создаются высокоэффективные аппаратные системы поддержки технологий искусственного интеллекта, по своим характеристикам (энергопотребление, производительность вычислений и др.) приближающиеся к биологическому прообразу – человеческому мозгу [19–22].

На базе исследований в области клеточной биологии, тканевой инженерии, молекулярной иммунологии и вирусологии разработаны биоподобные и искусственные биологические материалы для медицины (биоразлагаемые штифты для остеосинтеза, противоожоговые покрытия, кардиостенты и др.), искусственные органы (кожа, трахея, сосуды и др.) [23–27], новые лекарственные препараты для терапии социально значимых заболеваний (различные виды онколо-

гии, болезни Альцгеймера и Паркинсона, другие когнитивные расстройства, туберкулёз и пр.), оснащённые средствами целевой доставки в органы и ткани [28–31].

Одним из важнейших результатов фундаментальных исследований энергетических процессов в живой клетке стала разработка технологии получения электрической энергии на основе метаболических процессов в живых организмах. Создан и испытан прототип генерирующего устройства – биотопливного элемента, реализующего эту технологию. Такие устройства могут применяться для питания имплантируемых медицинских приборов, микросенсоров, робототехнических устройств, в том числе биороботов [32–35].

Создан опытный образец принципиально нового нейрокогнитивного интерфейса "глаз–мозг–компьютер", алгоритм управления которым впервые основан на принципах работы головного мозга, центральной нервной системы и зрительного аппарата человека. Такой интерфейс может применяться в системах управления биомедицинскими устройствами различного назначения (биопротезы, коляски для инвалидов и т. п.), беспилотными летательными аппаратами, робототехническими комплексами и т. д. [36–38].

Каждая из этих и подобных им разработок открывает новое направление и закладывает основы для создания научных заделов в области природоподобных технологий.

Яркий пример слияния гуманитарного и естественно-научного знания — комплексное исследование объектов исторического и культурного наследия методами естественных наук, в том числе с использованием уникальных установок класса мегасайенс. Уже несколько лет в Курчатовском комплексе НБИКС-природоподобных технологий совместно с Институтом археологии РАН, Государственным историческим музеем и Государственным музеем изобразительных искусств им. А.С. Пушкина развивается такое направление, как историческое материаловедение. Использование для изучения артефактов различного происхождения методов синхротронной и нейтронной диагностики, газовой хроматографии и масс-спектрометрии, электронной микроскопии и элементного микроанализа, геномного анализа, магнитно-резонансной и компьютерной томографии, 3D-сканирования и моделирования весьма эффективно дополняет традиционные методы получения исторической информации из письменных и археологических источников, расширяя возможности изучения особенностей структуры, элементного и фазового состава образцов, степени их сохранности, других показателей, важных для определения оптимальных методов реставрации, сохранения и демонстрации в музейных экспозициях. Кроме того, такая углублённая информация об исторических артефактах позволяет изучать источники сырья, технологии изготовления и таким образом исследовать направления развития и распространения ремёсел, формирования межрегиональных торговых и культурных связей. Всё это даёт дополнительные важные сведения о конкретном историческом периоде, особенностях развития культуры, международных связей. Объектами исследований были, например, различные артефакты из Суздальского Ополя, в том числе кресты-энколпионы. Методом рентгенофлуоресцентного анализа на Курчатовском источнике синхротронного излучения определён состав черни створок и с помощью нейтронной томографии без вскрытия крестов исследовано их содержимое [39, 40].

Чрезвычайно интересными оказались результаты комплексного исследования методом позитронно-эмиссионной томографии крупнейшей коллекции египетских мумий из ГМИИ им. А.С. Пушкина. Исследование проводилось междисциплинарным коллективом, включавшим физиков, историков, археологов, антропологов, криминалистов, медиков. Получена информация о технике мумификации, составе бальзамирующих смол, природе тканей для обёртывания мумий, возрасте, поле, телосложении, телесных повреждениях и общем состоянии. Эти данные представляют богатейший материал для дальней-

ших исторических, антропологических и других исследований [41, 42].

Наряду с созданием базовой исследовательской инфраструктуры для развития природоподобных технологий НИЦ "Курчатовский институт" в тесном взаимодействии с Российской академией наук и вузовским сообществом сформирована инновационная научно-образовательная система междисциплинарной подготовки кадров [10]. Она включает:

- факультет нано-, био-, инфокогнитивных технологий (ФНБИК) в Национальном исследовательском университете МФТИ (первый в мире);
- Институт ядерных, нано-, биотехнологий (ИЯНБ) в Национальном исследовательском ядерном университете МИФИ;
- 27 базовых кафедр и научно-образовательных центров в ведущих вузах Москвы и Санкт-Петербурга: МГУ им. М.В. Ломоносова, МИФИ, МФТИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МИРЭА, РУДН, СПбГУ, СПбГПУ, СПбАУ НОЦНТ РАН. В лабораториях НИЦ "Курчатовский институт" одновременно проходят практику, выполняют бакалаврские дипломные работы и готовят к защите магистерские диссертации свыше 400 студентов;
- аспирантуру и докторантуру.

Таким образом, в области создания природоподобных технологий Россия вышла на передовые позиции в мире. Вместе с тем для сохранения и закрепления в стратегической перспективе лидирующего положения в этой области требуется новый научно-технологический прорыв. Это означает, что в ближайшие годы в первую очередь необходимо сделать шаг в исследовании природных процессов, прежде всего процессов жизнедеятельности живой природы. Дело в том, что имеющиеся в распоряжении исследователей экспериментальные установки обладают пространственным разрешением, позволяющим видеть атомную структуру вещества, в том числе живого. Но временное разрешение недостаточно для того, чтобы видеть движение атомов и молекул. Между тем необходимо "подсмотреть" именно движение, то есть увидеть, как природа создаёт свои объекты, с тем чтобы воспроизвести эти процессы в виде технологий сначала в лаборатории, а затем и в промышленности. По существу, речь идёт о возникновении нового научного направления — 4D-кристаллографии (четвёртое измерение — время). Для решения указанной задачи потребуется создать ряд качественно новых экспериментальных установок, позволяющих непосредственно (напрямую) исследовать не только структуру объектов живой природы, но и процессы их функционирования.

В соответствии с поручениями Президента РФ в нашей стране формируется программа развития

синхротронно-нейтронных исследований, предусматривающая реализацию ряда проектов создания таких установок класса мегасайенс. В частности, завершается строительство самого мощного в мире источника нейтронов — реакторного комплекса ПИК, на базе которого формируется международный центр нейтронных исследований. Начато проектирование не имеющего мировых аналогов специализированного источника синхротронного излучения четвёртого поколения ИССИ-4. Предусмотрено также строительство современных специализированных источников синхротронного излучения в Новосибирске и Владивостоке. Осуществление последних двух проектов даст мощный импульс пространственному развитию страны.

Комплементарное использование нейтронов и синхротронного излучения позволит получить принципиально новую информацию об атомной структуре и динамике процессов жизнедеятельности объектов живой природы и создаст научные заделы для развития природоподобных технологий. Эти исследовательские установки одновременно составят ядро метрологического комплекса принципиально новой природоподобной технологической базы экономики страны.

Вторая важнейшая составляющая нового этапа развития природоподобных технологий — формирование методов и инструментальных средств воспроизведения систем и процессов живой природы. Базовыми для решения этой задачи являются генетические технологии, в первую очередь технологии генетического редактирования.

Указом Президента РФ Правительству РФ поручено разработать и утвердить Федеральную научно-техническую программу развития генетических технологий на 2019–2027 гг., которая призвана обеспечить научно-технологический прорыв в этой области. Целями программы являются:

- комплексное решение задач ускоренного развития генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования;
- разработка биологических препаратов, диагностических систем и иммунобиологических средств для сферы здравоохранения, биотехнологий для сельского хозяйства и промышленности;
- совершенствование мер предупреждения чрезвычайных ситуаций биологического характера и контроля.

Основные задачи программы состоят:

- в снижении критической зависимости России от иностранных баз генетических и биологических данных, иностранного специализированного программного обеспечения, приборов и технологий;
- в развитии кадрового потенциала отечественной науки и высокопрофессиональных компе-

тенций исследователей в области генетических технологий;

- в формировании сети лабораторий, ведущих исследования по ключевым направлениям в области развития генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования;
- в создании национального биоресурсного центра микроорганизмов биотехнологического назначения и центров технической поддержки исследований в области генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования.

В программе предусматривается участие НИЦ "Курчатовский институт", Российской академии наук, институтов Роспотребнадзора и университетов.

В программе выделены четыре ключевых направления развития генетических технологий, охватывающие практически все важнейшие их приложения: генетические технологии для биомедицины; генетические технологии для агроиндустрии; генетические технологии для промышленной микробиологии; биобезопасность и обеспечение технологической независимости.

В ходе реализации программы должны быть получены следующие основные результаты:

- разработаны отечественные генетические технологии нового поколения, включая технологии генетического редактирования, обеспечивающие, в частности, создание высокоэффективных микроорганизмов — продуцентов всех важнейших продуктов биотехнологий;
- сформирован высококлассный кадровый потенциал в области генетических технологий;
- создана исследовательская инфраструктура мирового уровня, включая сеть лабораторий, центры техподдержки исследований и центры развития компетенций в области генетических технологий;
- созданы отечественные биоинформационные и генетические базы данных, основные реагенты, программные продукты и прототипы отечественного оборудования для исследований и разработок в области генетических технологий;
- на базе отечественных генетических технологий выведены высокопродуктивные линии, сорта, породы сельскохозяйственных растений и животных; разработаны модели заболеваний человека на основе лабораторных животных или культур клеток.

Таким образом, осуществление двух указанных федеральных научно-технических программ позволит сформировать инфраструктурную и научно-технологическую базу развития природоподобных технологий в Российской Федерации и обеспечить вхождение страны в группу мировых лидеров в этой стратегически важной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Научно-технологические приоритеты и глобальный вызов XXI века // Новая экономика. Инновационный портрет России. Сборник. М.: НП "Центр Стратегического партнёрства", 2015. С. 55–58.
2. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-Пресс, 2004.
3. Вернадский В. И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1972.
4. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Конвергенция наук и технологий и формирование новой ноосферы // Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6. № 9–10. С. 10–13.
5. More Data, Less Energy: Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices. Report of the International Energy Agency, 2014. P. 176.
6. Выступление Президента Российской Федерации В. В. Путина на 70-й сессии Генеральной ассамблеи ООН. <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/50385> (дата обращения 05.11.2018).
7. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/uZiATIOJiq5tZsJgqcZLY9YyL8PWTXQb.pdf> (дата обращения 05.11.2018).
8. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития // Вопросы философии. 2013. № 3. С. 3–11.
9. Ковальчук М. В. Идеология нанотехнологий. Изд. 2-е, испр. и доп. М., 2011.
10. Ковальчук М. В. От синтеза в науке – к конвергенции в образовании // Образовательная политика. 2010. № 11–12. С. 4–9.
11. Ковальчук М. В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее // Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6. № 1–2. С. 13–23.
12. Ковальчук М. В. Нанотехнологии – фундамент новой наукоёмкой экономики XXI века // Вестник Института экономики РАН. 2008. № 1. С. 143–158.
13. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. Т. 22. № 3–4 (118–119). С. 103–108.
14. Онищенко Г. Г., Кутырев В. В., Одинокоев Г. Н. и др. Синтетическая биология: риски и перспективы // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. № 3. С. 5–10.
15. Эндаль У. Ф. Семена разрушения: Тайная подоплёка генетических манипуляций. СПб.: Нестор-История, 2009.
16. Президентская инициатива "Стратегия развития nanoиндустрии". http://www.rusnanonet.ru/download/nano/20070424_strategy_688.pdf (дата обращения 05.11.2018).
17. Chernykh M. Y., Ezubchenko I. S., Mayboroda I. O., Zaveskin M. L. Influence of the growth conditions of LT-AlN on quality of HT-AlN growth on Si (1 1 1) by metalorganic chemical vapor deposition // Journal of Crystal Growth. February 2019. V. 507. P. 200–204.
18. Mayboroda I. O., Knizhnik A. A., Grishchenko Yu. V. et al. Growth of AlGaIn under the conditions of significant gallium evaporation: Phase separation and enhanced lateral growth // Journal of Applied Physics. 2017. V. 122. P. 105305.
19. Demin V. A., Erokhin V. V., Emelyanov A. V. et al. Hardware elementary perceptron based on polyaniline memristive devices // Organic Electronics. 2015. V. 25. P. 16–20.
20. Emelyanov A. V., Lapkin D. A., Demin V. A. et al. First steps towards the realization of a double layer perceptron based on organic memristive devices // AIP Advances. 2016. V. 6. P. 111301-1-9.
21. Demin V. A., Emelyanov A. V., Lapkin D. A. et al. Neuro-morphic elements and systems as the basis for the physical implementation of artificial intelligence technologies // Crystallography Reports. 2016. V. 61 (6). P. 992–1001.
22. Lapkin D. A., Emelyanov A. V., Demin V. A. et al. Polyaniline-based memristive microdevice with high switching rate and endurance // Applied Physics Letters. 2018. V. 112. P. 043302-1-4.
23. Solovieva E. V., Fedotov A. Y., Mamonov V. E. et al. Fibrinogen-modified sodium alginate as a scaffold material for skin tissue engineering // Biomed Materials. 2018. V. 13 (2). P. 025007.
24. Solovieva E. V., Teterina A. Y., Klein O. I. et al. Autologous Platelet rich plasma is an effective angiogenic and wound healing component of composite alginate sponge scaffolds // Journal of Investigative Dermatology. 2018. V. 138 (5). P. S244.
25. Романова О. А., Тенчури Т. Х., Сафронова Е. И. и др. Функциональный эквивалент дыхательного эпителия трахеи на основе композитного нетканого двуслойного полимерного матрикса // Гены и клетки. 2017. № 3. С. 208–209.
26. Lukanina K. I., Grigoriev T. E., Krashennnikov S. V. et al. Multi-hierarchical tissue-engineering ECM-like scaffolds based on cellulose acetate with collagen and chitosan fillers // Carbohydrate Polymers. 2018. V. 191. P. 119–126.
27. Родина А. В., Тенчури Т. Х., Сапрыкин В. П. и др. Пролиферативный и дифференцировочный потенциал мультипотентных мезенхимных стволовых клеток на биосовместимых полимерных матриксах с различными физико-химическими свойствами // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2016. № 10. С. 486–494.
28. Borodina T., Marchenko I., Trushina D. et al. A novel formulation of zolpidem for direct nose-to-brain delivery: synthesis, encapsulation and intranasal administration to mice // Journal of Pharmacy and Pharmacology. 2018. V. 70. P. 1164–1173.
29. Trushina D. B., Bukreeva T. V., Kovalchuk M. V., Antipina M. N. CaCO₃ vaterite microparticles for biomedical and personal care applications // Materials Science and Engineering: C. 2014. V. 45. P. 644–658.

30. *Yabbarov N.G., Posypanova G.A., Obydenny S.I., Severin E.S.* A New System for Targeted Delivery of Doxorubicin into Tumor Cells // *Journal of Controlled Release*. 2013. V. 78. № 8. P. 1128–1140.
31. *Малашенкова И.К., Крынский С.А., Хайлов Н.А. и др.* Противовоспалительные эффекты нейротрофической терапии (применение церебролизина при мягком когнитивном снижении) // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018. № 5. С. 39–44.
32. *Reshetilov A.N., Plekhanova Y.V., Tarasov S.E. et al.* Effect of some carbon nanomaterials on ethanol oxidation by *Gluconobacter oxydans* bacterial cells // *Appl. Biochem. Microbiol.* 2017. V. 53. P. 123–129.
33. *Reshetilov A.N., Plekhanova J.V., Tarasov S.E. et al.* Evaluation properties of bioelectrodes based on carbon superfine materials containing model microorganisms *Gluconobacter* // *Nanotechnologies Russ.* 2017. V. 12. P. 107–115.
34. *Gotovtsev P., Vorobiev V., Migalev A. et al.* Bioenergy Based Power Sources for Mobile Autonomous Robots // *Robotics*. 2018. V. 7. P. 2–18.
35. *Reshetilov A.N., Kitov A.E., Dyakov A.V. et al.* Converter-based accumulation of electric energy generated by microbial biofuel cell // *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2017. V. 52. P. 012010.
36. *Shishkin S.L., Nuzhdin Y.O., Svirin E.P. et al.* EEG negativity in fixations used for gaze-based control: Toward converting intentions into actions with an eye-brain-computer interface // *Frontiers in Neuroscience*. 2016. V. 10. Article 528 (20 pages).
37. *Shishkin S.L., Zhao D.G., Isachenko A.V., Velichkovsky B.M.* Gaze- and brain-controlled interfaces for human-computer and human-robot interaction // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2017. V. 10 (3). P. 120–137.
38. *Величковский Б.М., Нuzhdin Ю.О., Сvirin Е.П. и др.* Управление "силой мысли": на пути к новым формам взаимодействия человека с техническими устройствами // *Вопросы психологии*. 2016. № 62 (1). С. 79–88.
39. *Макаров Н.А., Зайцева И.Е., Грешников Э.А.* Черневые кресты-энколпионы в Суздальском Ополье // *Археологические вести*. Вып. 23. СПб.: ИИМК РАН, 2017. С. 291–310.
40. *Говор Л.И., Грешников Э.А., Зайцева И.Е. и др.* Исследование закрытых древнерусских крестов-энколпионов с применением ядерно-физических методов // *КСИА (Краткие сообщения Института археологии)*. 2017. Вып. 249, ч. II. С. 348–365.
41. *Яцишина Е.Б., Ковальчук М.В., Лошак М.Д. и др.* Междисциплинарные исследования египетских мумий из коллекции Государственного музея образительных искусств им. А.С. Пушкина в Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт" // *Кристаллография*. 2018. Т. 63. № 3. С. 479–490.
42. *Vasilyev S.V., Galeev R.M., Borutskaya S.B. et al.* Anthropological Study of the Ancient Egyptian Mummy Based on the Computed Tomography Method // *Anthropol.* 2018. V. 6 (3). P. 2–6.

NATURE-LIKE TECHNOLOGIES: NEW OPPORTUNITIES AND NEW CHALLENGES

© 2019 M.V. Kovalchuk*, O.S. Naraikin**, E.B. Yatsishina***

National research center "Kurchatov institute", Moscow, Russia

*E-mail: Koval@nrcki.ru; **E-mail: Naraikin_OS@nrcki.ru;

***E-mail: Yatsishina_EB@nrcki.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 11.12.2018

Accepted: 17.01.2019

The article dwells on the concept of creation of nature-like techno spheres in terms of the logical phase of scientific and technological development of a civilization. It reveals the problems and achievements encountered in the process of founding of the convergent NBICS technologies, which serve an instrument of creation of a nature-like techno sphere. It also describes the goals required to speed up the process of development of nature-like technologies in Russia.

Keywords: strategic and tactical priorities, nature-like technologies, nature-like techno sphere, convergent nano-, bio-, info- and socio-humanitarian (NBICS) technologies, research installation of mega-science class, genetic technologies.