

## НАНОТЕХНОЛОГИИ И БИМЕДИЦИНСКАЯ ЭТИКА

И. А. Шамов

Дагестанская государственная медицинская академия, Махачкала, Россия

### Nanotechnologies and Biomedical Ethics

I. A. Shamov

Dagestan State Medical Academy, Makhachkala, Russia

---

Стремительно внедряющиеся в нашу жизнь, в том числе и в медицину, нанотехнологии рождают множество новых биомедицинских проблем. Это явление требует срочного их обсуждения и решения. *Ключевые слова:* нанотехнологии, медицина, биомедицинские проблемы.

Promptly taking root in our life including in medicine, nanotechnologies give rise to set of new biomedical problems. This phenomenon demands their urgent discussion and the decision. *Key words:* nanotechnologies, medicine, biomedical problems.

---

«Нано» — приставка, означающая десять в минус девятой степени ( $10^{-9}$ ) или одну миллиардную долю метра. Молекулы, вирусы и атомы — объекты, размеры которых колеблются от менее чем 1 нанометра (атомы) до примерно 100 нанометров (большие молекулы, подобные ДНК).

Таким образом, нанотехнологии — это технологии, оперирующие величинами, сопоставимыми с размерами атомов. Переход от широко освоенных ныне «микротехнологий» к «нанотехнологиям» — качественный скачок от манипуляции веществом к манипуляции отдельными молекулами и атомами. Для образности — при изготовлении электронных схем с активными элементами, их размеры сравнимы с размерами отдельных молекул и атомов; наномашин (механизмы, роботы) также будут размером с молекулу.

Теоретическое начало эры наноструктур, по-видимому, следует отсчитывать с 1959 года, когда нобелевский лауреат, физик Ричард Фейнман выступил с идеями о возможных путях развития физики, о миниатюризации, компьютерах, информационных технологиях, субмикроскопических исследованиях и использовании атомов. Тогда он заявлял, что, научившись манипулировать отдельными атомами, человечество сможет получать синтетически любые вещи.

Термин «нанотехнологии» был введен 14 лет спустя японским физиком Норио Танигучи для обозначения рукотворных изделий из атомов и молекул. Основы практической реализации теоретических идей заложили физики Герд Бининг и Генрих Рорер, которые в 1981 году создали сканирующий туннельный микроскоп, позволяющий не только видеть, но и манипулировать атомами.

Всемирным популяризатором нанотехнологий стал Эрик Дрекслер, книга которого «Машины создания. Грядущая эра нанотехнологий», вышедшая в 1986 году, взбудоражила весь мир. В книге утверждалось, что существующих сегодня технологий уже достаточно, чтобы произвести сборку из нескольких молекул ассемблеров (конструкторов, сборщиков) машин молекулярных размеров, способных к саморепликации (самовоспроизведению, саморазмножению) и конструированию других устройств, с наперед заданной структурой и функцией. Работать ассемблеры будут с помощью нанокomпьютера, который обеспечивает работу всех его систем — позиционных механизмов, манипуляторов, систем подачи и преобразования энергии, систем связи и т. д. Такие ассемблеры зачастую представлены несколькими большими молекулами. Вот некоторые, не самые фантастические перспективы возможного их внедрения.

**Промышленность.** Замена традиционных методов производства сборкой молекулярными роботами предметов потребления непосредственно из атомов и молекул, вплоть до персональных синтезаторов и копирующих устройств, позволяющих изготовить любой предмет. Уже сегодня туннельный микроскоп позволяет ученым не только видеть, но и манипулировать атомами, производить из атомов различные сборки. А что такое любое вещество, как не особым образом собранные атомы? Поэтому не сегодня, так завтра это может быть осуществлено. Ученые предполагают, что первые практические результаты могут быть получены в начале XXI века.

**Сельское хозяйство.** Вышеуказанный принцип может быть перенесен и на сельскохозяйственное производство. Речь идет о замене «естественных машин» для производства пищи (растений и животных) их искусственными аналогами — комплексами из молекулярных роботов. Они будут воспроизводить те же химические процессы, что происходят в живом организме, однако более коротким и эффективным путем. Например, из цепочки

«почва — углекислый газ — фотосинтез — трава — корова — молоко» будут удалены все лишние звенья. Останется «почва — углекислый газ — молоко (творог, масло, мясо — все, что угодно)». Такое «сельское хозяйство» не будет зависеть от погодных условий и не будет нуждаться в тяжелом физическом труде. А производительности его хватит, чтобы избавить человечество от голода раз и навсегда. Есть мнение, что первые такие комплексы могут быть созданы уже к концу XXI века.

**Биология.** Станет возможным «внедрение» в живой организм на уровне атомов. Последствия могут быть самыми различными — от «восстановления» вымерших видов до создания новых типов живых существ, биороботов. Прогнозируемый срок реализации — середина XXI века.

**Экология.** В данной области открываются особо заманчивые перспективы — полное устранение вредного влияния деятельности человека на окружающую среду. Это произойдет как за счет насыщения экосферы молекулярными роботами-санитарами, превращающими отходы деятельности человека в исходное сырье, так и за счет перевода промышленности и сельского хозяйства на вышеуказанные безотходные нанотехнологические методы. Прогнозируемый срок реализации — середина XXI века.

**Освоение космоса.** В принципе возможно создание роботов-молекул с любыми заданными свойствами, которые смогут работать в самом безвоздушном пространстве. Направив армию разносторонне функционирующих нанороботов, скажем, на Марс, человек сможет коренным образом изменить климатические условия этой планеты. Наличие огромных запасов подпочвенных вод, углекислоты и т. д. позволит достаточно быстро изменить атмосферу этой планеты в сторону пригодности для открытого проживания на ней человека. То же самое можно сказать и в отношении Луны, целого ряда астероидов, крупных спутников ряда планет и т. д.

**Кибернетика.** Кибернетику ждет настоящая революция. Размеры активных элементов компьютеров и прочих кибернетических устройств уменьшатся до размеров молекул. Рабочие частоты компьютеров достигнут терагерцовых (10—12) величин. Уже сегодня имеются возможности схемных решений на нейроноподобных элементах. Сборка элементов будет произведена на сапфировой основе из нанотрубных материалов, вследствие чего они будут иметь неисчерпаемую устойчивость, высочайшую точность и быстродействие. Появится долговременная быстродействующая память на белковых молекулах, емкость которой также будет измеряться терабайтами. Станет возможным «переселение» человеческого интеллекта в компьютер. Прогнозируемый срок реализации: первая — вторая четверть XXI века

**Разумная среда обитания.** За счет внедрения логических наноэлементов во все атрибуты окружающей среды она станет «разумной» и исключительно комфортной для человека. Например, ассемблеры могут быть использованы для восстановления озонового слоя планеты. Достаточно выпустить строго определенное количество наномашин в околоземное пространство, и они сами в автоматическом режиме, без вмешательства человека, восстановят озоновый слой до заданной величины. Прогнозируемый срок реализации — начало XXII века.

Возможности же нанотехнологий военного направления просто устрашающи. Еще в 1991г. С. Лийима (Япония) разработал так называемые нанотубы — материалы из однослойных молекулярных соединений, которые в тысячи раз прочнее, чем любой известный до сих пор материал при очень малой массе. Солдат, герметично одетый в такой бронжилет (а это вполне реально) будет практически неуязвим, разве что его можно устранить механически. Но ведь можно сделать танк с такой броней. Могут быть созданы невидимые и неслышимые нанопули, самонаводящиеся на цель, которые могут поражать противника на любом расстоянии и за любыми оборонительными сооружениями.

Вполне реально создание самолетов-роботов небольших размеров, которые недоступны никаким современным локаторам и которые могут летать над любыми военными объектами и целями и выполнять задачи от шпионского сбора сведений, до уничтожения этих самых военных объектов. На современную атомную электростанцию могут прилететь несколько наноракет взрывного назначения. Первая ракета пробивает микроскопическое отверстие в стенке реактора, вторая углубляет ее и, наконец, энный из них дойдет до реактора и спокойно взорвет его...Последствия представить нетрудно. Однако все танки, пехота, ракеты и прочая военная техника может оказаться совершенно ненужной.

Дело в том, что вполне реальна разработка оружия, которое называют «наномуха». Это летающее существо наноразмеров. Его трудно увидеть, но оно может летать на любые расстояния и в соответствии с настройкой, впрыскивать смертельный яд любому человеку. Таких «наномух» в одном ничем не примечательном чемодане может уместиться 50 миллиардов. И этого достаточно, чтобы убить все население земли! Производство наноружия невозможно ни обнаруживать, ни контролировать, оно может быть налажено любым богачем с нарушенной психикой, которых на земле огромное множество. И результаты этого могут быть самые непредсказуемые.

Можно было бы думать, что возможности и угрозы молекулярных производств являются чрезвычайно далекими, а не проблемами ближайшего времени. Но не все так просто. К проблеме уже сегодня следует относиться весьма серьезно. Дело в том, что за прошедшие полвека эры нанотехнологий было разработано существенное число реальных крупных научных и технических проектов, преобразовавших микротехнологии в нанотехнологии. Вот примеры. Уже давно получены первые результаты по перемещению единичных атомов и сборки из них определенных конструкций, разработаны и изготовлены первые наноэлектронные элементы.

Нанотехнологический контроль изделий и материалов, буквально на уровне атомов, в некоторых областях промышленности стал обыденным делом. Реальный пример — DVD-диски, производство которых было бы невозможно без нанотехнологического контроля матриц.

Во многих странах мира развернуты научные изыскания по разработке нанотехнологических методов, позволяющих создавать активные элементы (транзисторы, диоды) размером с молекулу и формировать из них многослойные трехмерные схемы. По-видимому, именно микроэлектроника будет первой отраслью, где «атомная сборка» будет осуществлена в промышленных масштабах.

Разработанные в последние годы наноэлектронные элементы по своей миниатюрности, быстрдействию и потребляемой мощности составляют серьезную конкуренцию традиционным полупроводниковым транзисторам и интегральным микросхемам на их основе, как главным элементам информационных систем.

При переходе к наномасштабам, на первый план выходят квантовые свойства рассматриваемых объектов. Уже сегодня техника вплотную приблизилась к теоретической возможности запоминать и передавать 1 бит информации с помощью одного электрона, локализация которого в пространстве может быть задана одним атомом. Это позволяет уменьшить размеры одного транзистора приблизительно до 10 нм, а рабочие частоты увеличить до порядка  $10^{12}$  Гц.

Уже сегодня в числе машин, имеющих отношение к электронике и информатике — высокоэкономичный квантовый лазер, диоды, излучающие свет, ячейки солнечных батарей и одноэлектронные транзисторы.

Оставляя в стороне сложные теоретические вопросы квантовой физики, можно сказать, что имеющиеся технологии взаимодействия металл-диэлектрик позволяют путем так называемого туннелирования осуществлять перенос заряда в структуре порциями, равными заряду одного электрона. Уже появились элементы на резонансном туннелировании. Об их размерах можно судить по следующему примеру. Если представить один бит информации как наличие или отсутствие одного электрона, то схема памяти емкостью 100 гигабайт разместится на кристалле, площадью всего  $6 \text{ см}^2$ . Для сравнения — память самых высококлассных современных компьютеров равняется примерно 500 гигабайт. Следовательно память всего такого компьютера можно будет разместить на матрице размером  $30 \text{ см}^2$ .

Говоря о перспективах использования нанотехнологий, я специально не затронул проблему медицины и нанотехнологий. А как раз именно в области медицины предложены и делаются попытки внедрения в жизнь одних из самых фантастичных проектов нанотехнологий. Вот несколько примеров.

Создание молекулярных роботов-врачей, которые «жили» бы внутри человеческого организма, устраняя все возникающие повреждения, или предотвращая возникновение таковых, включая генетические.

Искусственные клетки крови нанометрических размеров — «респироциты». В респироците имеются «баки» для хранения  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и глюкозы. Он сферической формы, что позволит давлению газов равномерно распределяться по его поверхности. Из-за алмазной или сапфировой основы поверхность респироцита отличается высокой прочностью, что позволит повысить давление газов в «баках» до 1000 атмосфер. Основная функция респироцитов — накопление в себе и отдача в кровяную плазму и нуждающиеся в нем ткани молекул газов.

Из вышесказанного легко можно понять ареал высокой потребности респироцитов в медицине. Прежде всего, они могут стать универсальными донорами в любой ситуации плановой или срочной гемотрансфузии. Это и кровопотеря в операциях, при травмах, геморрагических синдромах и т.д., и тяжелые анемии и лейкозы, и акушерская патология, и многое другое.

Нетрудно представить себе также преимущества, которые дадут респироциты при замене компонентов крови. Человечество раз и навсегда будет избавлено от опасности гемотрансфузионных инфекций — ВИЧ, вирус гепатита, малярийных паразитов и т.д. и посттрансфузионных реакций. Возможно избавление от малокровия, связанного с наследственными заболеваниями крови. Особенно такие наноустройства помогут при трансплантации в качестве носителя кислорода. Роботы способны обеспечить дыхание новорожденных младенцев при маточной асфиксии, травмах и других заболеваниях.

Другие медико-биологические наномеханизмы: — ДНК анализатор — способен на нуклеотидном уровне анализировать эту структуру, вырезать поврежденные участки и заменять их на работоспособные нуклеотиды. Позволит корректировать и устранять различные дефекты ДНК, ликвидировать генетические болезни и в будущем изменять конфигурацию ДНК по желанию пациента; — клеточный реконструктор нанометрических размеров; механические наноконьютеры, имплантированные в мозг человека, смогут намного увеличить скорость мыслительных процессов.

## Нанотехнологии и проблемы биоэтики

Разумеется, многие проблемные и прогнозируемые нанотехнологические машины, ассемблеры, компьютеры и прочие — не более чем плод фантазии Фейнмана и Дрекслера. И эти фантазии не являются поводом для беспокойства.

Тем не менее, эти технологии не могут быть сброшены со счетов, от них нельзя просто так отмахнуться. Дело в том, что нанотехнологии ставят ряд этических, юридических и политических проблем, с которыми может столкнуться международное сообщество в ближайшем будущем.

Развитие науки и техники значительно изменяет человеческое существование. Технология делает жизнь более безопасной и менее обременительной. Медицинская наука неизмеримо улучшила здоровье людей.

Медицинские технологии, особенно последних десятилетий, внесли существенный вклад в совершенствование общественного здоровья. Информационные технологии обеспечили фантастические возможности коммуникации человека. Экологическая наука развила наиболее безопасные пути производства и потребления.

Нанотехнологии пересекаются со всеми этими областями. В целом они ведут к появлению множества этических проблем и вопросов. Например, в начале XXI в. создалась такая ситуация, когда индустриально развитые страны запускают разные макро- и микротехнологии в менее развитых странах. При этом широко эксплуатируются материальные и людские ресурсы последних, однако результаты и изделия потребляются развитыми странами, а не странами-производителями. Вместо страны получается этакая суррогатная мать, при помощи экономических рычагов понуждаемая к выдаче чужому дяде своего продукта.

Дело осложняется еще и тем, что и этические вопросы этих проблем разрабатываются под стандарты развитых стран, тогда как такие положения неприемлемы для других. Даже одно это показывает необходимость координированных международных действий в области этики технологий и нанотехнологий, в том числе и в области биомедицинской этики.

Еще в 1993 году Государства — члены ЮНЕСКО создали международный комитет этики биологических исследований (ИВС). В комитет входит 36 экспертов из многих стран мира, специалистов по самым различным научным дисциплинам. Комитет пытается выработать рекомендации относительно трудных биоэтических проблем.

С 1998 года в ЮНЕСКО работает также COMEST-Комиссии по этике научного знания и технологии, состоящая из 18 экспертов. Она работает в области прикладной этики типа этики науки, экологической этики и этики технологии. На основе этического мандата ЮНЕСКО COMEST анализирует этику информационных технологий, использования гидрологических технологий, энергии и космических технологий и др.

ИВС также имеет подобные функции, но она больше сосредоточена на этике биологических исследований, этических и юридических проблемах, возникающих при исследованиях в науке о жизни и их внедрением в практику.

В вопросах нанотехнологий в обязанности комитетов ЮНЕСКО прежде всего входит задача ознакомления гражданских обществ стран с этическими проблемами, связанными с внедрением в практику таких технологий. Для достижения этой цели эксперты идентифицируют и анализируют проблемы новых технологий так, чтобы они были понятны и широкой публике и специализированным группам и лицам, принимающим решения наверху.

ИВС и COMEST предназначены для того, чтобы непрерывно контролировать возможные выгоды и вред новых научных достижений, в том числе нанотехнологий, чтобы предотвратить беспокойство и моральные осуждения со стороны общества.

Юнеско считает, что, даже если нации не активно проводят исследование по нанотехнологиям, они, тем не менее, должны знать фактический курс исследования согласно нормам акции, правосудия и справедливости и иметь долю в использовании полученных результатов. Граждане каждой нации должны иметь право в понимании того, что такое нанотехнологии и к чему они могут вести. Очевидно, что внедрение нанотехнологий поставит перед миром множество этических проблем вовсе не наноразмеров.

## Нанотехнологии и проблемы биомедицинской этики

Нанотехнологии могут создать массу проблем биомедицинской этики. Например: вопрос оживления крионизированных ныне людей. В настоящее время в печати открыто заявляется, что в ожидании успехов нанотехнологий следует наращивать темпы крионирования безнадежно больных людей. Такие заявления и действия несут в себе множество этических проблем.

На самом деле, при самом высоком развитии нанотехнологий, шанс на оживление таких людей является практически нулевым. Научные исследования свидетельствуют, что при замораживании теплокровного объекта больше сперматозоида происходит полный разрыв всех клеток, вследствие перехода клеточной воды в лед. Отсюда ясно, что никакие наноремонтные клетки не смогут «собрать» заново фактический труп человека, восстановить все клетки, восстановить прерванные межклеточные взаимосвязи, нарушенные функции и т.д.

Множество проблем биомедицинской этики просматривается и в других нанотехнологиях, которые могут быть внедрены в медицину в ближайшие десятилетия. Так, сразу возникнет проблема всеобщей их доступности и соблюдения принципа справедливого распределения ресурсов в медицине. Едва ли есть сомнение в том, что при нынешнем состоянии нравов российского общества нанотехнологии будут распределяться избирательно, в соответствии со служебной или финансовой иерархией. Возникнет также проблема регионального эгоизма — технологии окажутся доступными в основном в тех регионах, где они будут разрабатываться или закупаться.

Жестко могут встать также проблемы работы этических комитетов. Ныне в России в подавляющем большинстве лечебных учреждений не созданы этические комитеты. Они имеются также не во всех научно-исследовательских учреждениях страны. Более того, их юридический статус в нашей стране так и остался неясным. И, сле-

довательно, можно ожидать бесконтрольного и аморального распространения и применения различных нанотехнологий, как это сегодня имеет место со стволовыми клетками.

Этической проблемой станет также добровольность информированного согласия пациента на применение нанотехнологий. Для доказательства безопасности и эффективности действия того же респиратора нужны будут многолетние исследования доказательного типа. Будут ли они проводиться в современной России? Во внедрение технологий будут вовлекаться очень большие деньги. Будет ли в таких условиях информированное согласие пациента добровольным или оно будет связано с его обманом заинтересованными лицами, в том числе и врачами. В этой ситуации просматривается также проблема коммерциализации нанотехнологий, что также противоречит положениям ВОЗ и ЮНЕСКО, Конвенции Совета Европы и другим этическим документам.

Требуют чрезвычайно точного просчета проблемы продления жизни людей на земле за счет внедрения в организм молекулярных роботов, предотвращающих старение клеток, а также перестройки и «облагораживания» тканей человеческого организма. Если не осуществится другая нанотехнологическая проблема — искусственного синтеза продуктов питания, то удлинение жизни человека может иметь самые тяжкие последствия.

Из сказанного видно, что круг биоэтических и биомедицинских проблем нанотехнологий будет чрезвычайно велик. Сказанное делает необходимым уже сегодня рассматривать возможно большее число этих проблем и меры их решения, профилактики и, по-видимому, подготовки к переводу части из них в медицинское право.

**Сведения об авторе:**

*Ибрагим Ахмедханович Шамов  
Дагестанская государственная медицинская академия,  
зав. кафедрой пропедевтики внутренних болезней, д. м. н., профессор  
Махачкала, пл. Ленина 1, ДГМА.  
E-mail: ibragim\_shamov@mail.ru*