

# **ВВЕДЕНИЕ В НАНОТЕХНОЛОГИЮ**



**テクノ図解**

新時代のキーワードが  
面白いほどよくわかる!!

# NanoTechnology ナノテクノロジー

10億分の1!! 原子、ウィルスも自由に  
操作できる夢のテクノロジー

日立総合計画研究所  
主任研究員

小林 直哉 著

Н. Кобаяси

# **ВВЕДЕНИЕ В НАНОТЕХНОЛОГИЮ**

2-е издание

Перевод с японского  
А. В. Хачояна  
под редакцией  
проф. Л. Н. Патрикеева



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2008

# Предисловие переводчика и редактора

---

Предлагаемая книга является не научной монографией или учебником по нанотехнологии, а скорее популярным и экономическим очерком развития нанотехнологии в Японии и других странах за последние несколько лет.

В качестве очень кратких вводных замечаний к тексту хотелось бы отметить следующие обстоятельства. Нанонаука (в качестве единого целого) развивается буквально на наших глазах на «стыке» ряда считавшихся ранее независимыми наук и технологий (информационные технологии, электронная техника, биохимия, атомная микроскопия, физика и т. д.), что придает ей существенно междисциплинарный характер. Результатом своеобразного «скрещивания» наук стала серьезная проблема несогласованности парадигм, терминологии, определений, методов и научного жаргона. Создание справочников и словарей по нанотехнологии становится насущной проблемой (в частности, когда речь идет о нарастающем потоке информации на японском и китайском языках).

Нанотехнология развивается настолько стремительно, что информация очень быстро обновляется. Из самых последних публикаций на русском языке следует отметить, прежде всего, книгу «Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований» (пер. с англ. под ред. Р. А. Андриевского. — М.: Мир. 2002), представляющую собой перевод обширного доклада Межотраслевой группы по нанонауке, нанотехнике и нанотехнологии (IWGN) Национального совета по науке и технике при президенте США. Именно на основе этого доклада президент Б. Клинтон подписал в январе 2001 года известную программу ННИ (Национальная Нанотехнологическая Инициатива), которая неоднократно упоминается в предлагаемой читателю книге и которая фактически дала старт нанотехнологическому «буму» во многих странах. Книга содержит большой объем фактического, справочного и библиографического материала и является своеобразной мини-энциклопедией по состоянию исследований на момент составления доклада. Нанотехнологии посвящен также тематический номер «Российского химического журнала» («Перспективы нанотехнологии», том XLVI, № 5, 2002), дающий представление о состоянии исследований в нашей стране.\*

---

\* Отметим, что в России теоретические и прикладные работы по нанотехнологии в течение последних лет проводятся прежде всего в университетах. Промышленность только начинает требовать от вузов подготовки специалистов-системщиков, что нашло свое отражение во введении Министерством образования России нового направления подготовки специалистов по нанотехнологии. Научный Совет по этому направлению возглавил Нобелевский лауреат, академик Ж. И. Алферов.

И наконец, хотелось бы отметить следующее. Читателя не должна удивлять высокая степень «планируемости» и «государственного контроля» исследований в Японии (что особенно заметно в главах 6 и 7). Дело в том, что обычно, говоря о причинах успехов японской промышленности, все исследователи отмечают старательное копирование японцами новейших западных научных и промышленных методик. Однако нельзя забывать, что в 50-60 годы японцы изучали и копировали также многие методы управления наукой и промышленностью в СССР (в частности, программы Госплана), в результате чего в Японии до сих пор очень велика роль государства в выработке стратегии и проведении научно-технической политики. Японские НИОКР отличаются очень высокой планируемостью, организованностью и целеустремленностью, причем планирование осуществляется на нескольких уровнях (правительство, организации, фирмы). Важную роль при этом играет весьма влиятельная организация Кэйданрэн (Ассоциация японского бизнеса), объединяющая несколько сотен ведущих фирм и корпораций страны. Многие крупные фирмы организуют собственные институты, занимающиеся выработкой стратегии, планированием исследований и прогнозированием научно-технического развития отдельных отраслей, научных направлений и целых стран и регионов. В одном из таких институтов («Хитати Сокэн»), организованном фирмой Хитати, работает и автор предлагаемой книги Наоя Кобаяси, профессор Токийского Университета. Написанная им книга была издана в Японии в 2001 г., поэтому в русском переводе может показаться неуместным упоминание о 2002–2005 гг. в будущем времени. Однако мы сочли целесообразным сохранить соответствующие ссылки, чтобы дать читателю представление о возрастающих темпах нанотехнологических исследований в развитых странах и масштабах их финансирования со стороны правительственных кругов и частного бизнеса.

... Возможно, именно такого общего руководства на государственном уровне не хватает нанотехнологическим исследованиям в нашей стране...

Что касается нашей страны, где национальная программа по нанотехнологии все еще составляется, то русские, как известно, «долго запрягают», зато мчатся — не догнать! В последние годы значительно активизировались нанотехнологические исследования в ведущих научных центрах России. Итогом этих работ является серия книг, написанных отечественными авторами, которая намечена к выпуску издательством «БИНОМ. Лаборатория знаний» вслед за предлагаемой читателю в переводе с японского языка книгой Наоя Кобаяси.

*А. В. Хачоян,  
Л. Н. Патрикеев  
декабрь 2004 г.*

# ВВЕДЕНИЕ

---

---

Наступил XXI век и всех, естественно, волнуют вопросы о будущем, о развитии науки и техники в наступающем столетии. Удастся ли человечеству победить страшные болезни (рак, СПИД и некоторые другие), станут ли путешествия на Луну простыми туристическими поездками, как будут выглядеть космические станции? Станут ли реальностью фантастические проекты в информационных технологиях, т. е. войдут ли в нашу жизнь крошечные компьютеры (возможно похожие на современные устройства Пасокон) с поразительным быстродействием и огромным объемом памяти, способные мгновенно записать, обработать и переслать в цифровой форме информацию любого вида? Будут ли созданы «личные» микрочипы, на которых будут записаны не только все данные о владельце (полная идентификационная карта), но и даже весь его генетический код? Станут ли такие личные миниатюрные компьютеры настолько умными, что при необходимости (например, при несчастном случае) смогут связаться с ближайшей больницей и провести «консультацию» с врачом? Можно ли надеяться, что промышленность начнет выпускать экологически безопасные автомобили, в выхлопных газах которых не будет содержаться вредных веществ? Осуществится ли, наконец, мечта человечества о жизни «в гармонии» с природой?

На пороге нового века такие вопросы задают даже школьники. Ответы на них раньше можно было искать только в научно-фантастических романах, однако в последние годы наука и техника подошли к некоторому важному рубежу, преодоление которого может значительно изменить все условия человеческого существования. Я говорю о развитии нанонауки и нанотехнологии. Эти названия звучат пока непривычно, но именно нанотехнология в перспективе обещает сделать реальностью мечты человечества.

Нанотехнологию довольно трудно определить точно, поскольку она возникла постепенно, в течение десятков лет, в результате развития и слияния целого ряда научных направлений в физике и химии 20-го века. Несмотря на проблемы с определением, нанотехнология уже реально существует, и в этой области ученые многих стран сейчас упорно соревнуются друг с другом, постоянно получая новые важные и интересные результаты. Можно сказать, что нанотехнология возникла в результате «освоения» и практического применения многих фундаментальных достижений науки, полученных за долгое время и только сейчас ставших основой новых технологий. Благодаря достижениям нанотехнологии, многие упоминавшиеся выше фантазии и мечты человечества (победа над болезнями, космические путешествия, продление жизни) могут стать реальностью в близком будущем.

Первой страной, оценившей возможности новой науки и выработавшей долгосрочную стратегию развития в этом направлении, стали Соединенные Штаты Америки, где в феврале 2000 года было объявлено о Национальной Нанотехнологической Инициативе, представляющей собой обширную научно-техническую программу. Уже в следующем, 2000 году правительство США запланировало выделить на нанотехнологические исследования около 500 миллионов долларов (что означает прирост ассигнований в 1,8 раза) и начало осуществлять целый ряд важных практических мероприятий, направленных на всемерное развитие нанотехнологии. О масштабах и значении новых технологий говорит следующий экономический прогноз — по расчетам экспертов объем рынка товаров и услуг, связанных с нанотехнологией, только внутри Японии составит 270 миллиардов долларов.

Можно не сомневаться, что в XXI веке нанотехнология будет оказывать все более возрастающее воздействие на экономическую и социальную жизнь всего человечества, что требует от Японии принятия энергичных мер для развития исследований в этой области. Развитие нанотехнологии не сводится лишь к получению конкретных научных результатов или внедрению новых технологий. На самом деле, оно включает в себя решение многих побочных экономических и социальных задач, т. е. требует целостного, системного подхода. В последнее время в Японии появляется все больше ценных книг и публикаций, посвященных нанотехнологиям, однако можно с огорчением констатировать, что почти все они относятся к чисто научной и технической стороне развития нанотехнологии. Экономические и социальные проблемы использования новых технологий почти не рассматриваются, и Япония все еще не имеет стратегии развития в этой области на государственном уровне.

В предлагаемой небольшой книге автор пытается анализировать развитие нанотехнологии с разных точек зрения. Помимо общих сведений и технических данных, в книге рассматриваются и общественно-социальные проблемы (организация научных исследований, внедрение нанотехнологий в промышленное производство, социальные последствия и т. д.), которые тоже должны быть учтены при выработке правильной и эффективной государственной стратегии Японии.

Автор постарался сделать изложение простым и понятным, поскольку книга предназначена не инженерам, а тем бизнесменам, экономистам и социологам, которые хотели бы получить хотя бы общее представление о новом и весьма перспективном направлении науки и техники.

*Наоя Кобаяси  
июнь 2001 г.*

# Глава 1

## Что такое нанотехнология?

---

- 1.1. Чему соответствует единица НАНО?
- 1.2. Что такое нанотехнология?
- 1.3. Как возникла нанотехнология?
- 1.4. Как ускорить развитие нанотехнологий?

Дополнительный материал к главе 1. Это интересно!

### 1.1. Чему соответствует единица НАНО?

*Технология, использующая наиболее скрытые и ценные свойства вещества!*

В последнее время термин «нанотехнология» (сокращенно нанотэк) стал очень популярным. Он объединяет разнородные представления и подходы, а также разные методы воздействия на вещество. Поэтому, прежде чем перейти к описанию собственно нанотехнологии, автор хотел бы очень кратко пояснить, о каких объектах и размерах пойдет речь в предлагаемой книге. Легко заметить, что название новой науки возникло просто в результате добавления к весьма общему понятию «технология» приставки «нано», означающей изменение масштаба в  $10^{-9}$  (миллиард) раз, т. е. 1 нанометр = 1 нм =  $10^{-9}$  м, что составляет одну миллионную привычного нам миллиметра (для наглядности можно указать, что 1 нм примерно в 100 тысяч раз меньше толщины человеческого волоса). Разумеется, человеческое воображение и используемые нами слова, образы или термины почти неспособны сколь угодно адекватно описывать «мир» со столь крошечными объектами.

В табл. 1 приведены размеры некоторых известных естественных и искусственных созданий природы в диапазоне размеров от 10 метров до 1 ангстрема. Напомним, что 1 ангстрем ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$  м) в 10 раз меньше нанометра и соответствует диаметру самого маленького из атомов (атома водорода). К нанотехнологии принято относить процессы и объекты с характерной длиной от 1 до 100 нм. Верхняя граница нанобласти соответствует минимальным элементам в так называемых БИС (больших интегральных схемах), широко применяемым в полупроводниковой и компьютерной технике. С другой стороны, интересно, что многие вирусы имеют размер 10 нм, а 1 нм почти точно соответствует характерному размеру белковых молекул (в частности, радиус знаменитой двойной спирали молекулы ДНК равен именно 1 нм).










Из сказанного ясно, что нанотехнология как бы объединяет все технические процессы, связанные непосредственно с атомами и молекулами. Именно поэтому она представляется весьма перспективной для получения новых конструкционных материалов, полупроводниковых приборов, устройств для записи информации, ценных фармацевтических препаратов и т. д.

Хотелось бы особо подчеркнуть, что мы пока не можем, конечно, оценить и представить себе масштабы развития и возможности применения нанотехнологий в целом.

Таблица 1

## Место наноразмерных объектов в окружающем нас мире

Увеличение размеров ↑	10 м	Кит	
	1 м	Человек	
	10 см	Птичье гнездо	
	1 см	Таракан	
	1 мм	Муравей; песчинка	
	100 мкм	Толщина листа бумаги; яйцеклетка; крупная амеба	
	10 мкм	Биоклетка; толщина человеческого волоса	
	1 мкм	Эритроцит крови; кишечная палочка	
	100 нм	Минимальный размер элементов БИС	
	Уменьшение размеров ↓	10 нм	Вирус; углеродная нанотрубка
1 нм		Белковая молекула; диаметр спирали ДНК	
1 Å		Диаметр атома водорода	

Источник: Ежемесячное информационное издание Кэйданрэн (февраль, 2000 г.)

## 1.2. Что такое нанотехнология?

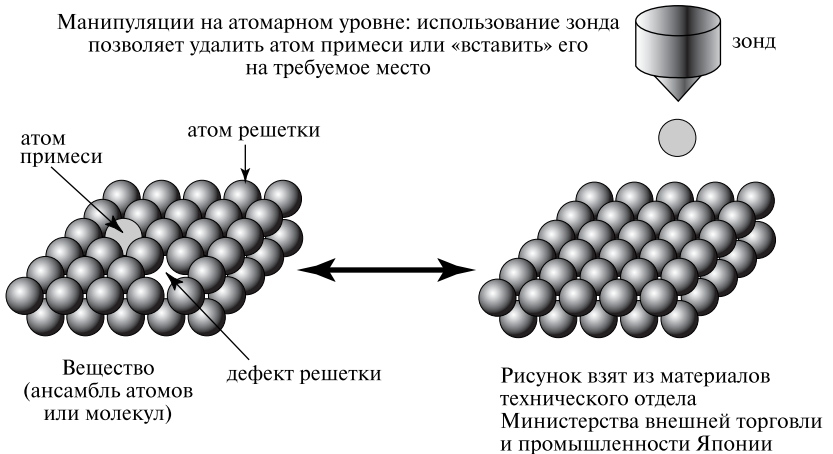
### *Свободная манипуляция атомами и молекулами!*

Нанотехнологию можно определить как набор технологий или методик, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами (т. е. методик регулирования структуры и состава вещества) в масштабах 1–100 нм. Использование характерных особенностей веществ на расстояниях порядка нанометров создает дополнительные, совершенно новые возможности для создания технологических приемов, связанных с электроникой, материаловедением, химией, механикой и многими другими областями науки. Получение новых материалов и развитие новых методик обещает, без преувеличения, произвести настоящую научно-техническую революцию в информационных технологиях, производстве конструкционных материалов, изготовлении фармацевтических препаратов, конструировании сверхточных устройств и т. д.

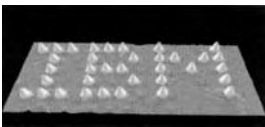
Классическим примером достижений нанотехнологии стала разработка сканирующих туннельных микроскопов (СТМ). Первый такой микроскоп был создан в лаборатории фирмы ИБМ Бихи и Роллером для исследования особенностей и неоднородностей поверхности монокристаллов кремния. О работе СТМ подробнее рассказано в разделе 3.5, однако читатель может получить общее представление о принципе его действия из рис. 1. Экспериментатор подводит тончайший золотой шуп (зонд, пробник) на расстояние около 1 микрона ( $10^{-6}$  м) к поверхности исследуемого образца, в результате чего между зондом и поверхностью возникает электрический ток, обусловленный квантово-механическим туннельным эффектом (см. раздел 3.1), величина которого меняется в зависимости от состояния изучаемой поверхности (например, из-за наличия на поверхности впадин или выступов). Замеряя величину туннельного тока или, наоборот, сохраняя ее постоянной (за счет регулирования потенциала зонда), экспериментатор может «сканировать» поверхность и получать ее прямое «изображение», подобно тому, как электронный луч создает изображение, сканируя поверхность экрана обычного телевизора. Этот метод позволяет не только изучать атомарную структуру поверхности, но и проводить разнообразные и весьма ценные физические эксперименты (например, можно проверять теоретические расчеты, относящиеся к изменению поверхности в определенных условиях и т. п.).

Работая со сканирующим микроскопом описываемого типа, экспериментаторы неожиданно вышли на следующий этап развития, а именно — стали проводить прямые технологические операции на

атомарном уровне. Прикладывая к зонду СТМ соответствующее напряжение, его можно использовать в качестве своеобразного атомного «резца» или гравировального инструмента. Впервые это удалось сделать сотрудникам Армаденской лаборатории ИБМ под руководством Д. Эйглера, которые сумели выложить на поверхности монокристалла никеля название своей фирмы (IBM) из 35 атомов ксенона, как показано на фотографии внизу рис. 1. Это стало своеобразным рекордом в методах миниатюризации записи «текста». Позднее, в 1991 году из этого выросла методика перемещения атомов ксенона вверх-вниз (относительно поверхности монокристалла), названная атомным переключением (atomic switch). В целом, описанная техника создает много возможностей как для манипуляций на уровне отдельных атомов, так и для изучения их структур и поведения.



Пример обработки вещества при помощи сканирующего туннельного микроскопа. На фотографии изображены самые маленькие буквы на свете (надпись из 35 атомов ксенона образует название фирмы IBM)



Микрофотография взята из публикации:  
D. M. Eigler, E. K. Schweizer. Nature, 344, 524, 1990.

**Рис. 1.** Манипуляции на уровне атомов

### 1.3. Как возникла нанотехнология?

#### *Нанотехнология возникла из-за революционных изменений в информатике!*

В 1947 году был изобретен транзистор, после чего началась эпоха расцвета полупроводниковой техники, при которой размеры создаваемых кремниевых устройств постоянно уменьшались (интегральные схемы, большие интегральные схемы, сверхбольшие интегральные схемы, ... и т. д.). С другой стороны, одновременно непрерывно возрастали быстродействие и объем магнитных и оптических запоминающих устройств. В частности, плотность записи на жестких магнитных и оптических дисках в настоящее время уже достигает 1 гигабит/кв. дюйм. Без преувеличения можно сказать, что в полупроводниковых технологиях (иногда их называют просто кремниевыми) вот уже более полувека происходит непрерывная революция.

Однако, как отмечалось выше, по мере приближения размеров полупроводниковых устройств к 1 микрону ( $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ), в них начинают проявляться квантово-механические свойства вещества, т. е. необычные физические явления (типа описанного в разделе 3.1 туннельного эффекта). Можно с уверенностью предположить, что при сохранении нынешних темпов развития вся кремниевая технология (и связанная с ней промышленность полупроводников) примерно через 5–10 лет столкнется с проблемами принципиального характера, так как быстродействие и степень интеграции в ЭВМ достигнут некоторых «принципиальных» границ, определяемых известными нам законами физики. Таким образом, дальнейший прогресс науки и техники требует от исследователей существенного «прорыва» к новым принципам работы и новым технологическим приемам.

Такой революционный прорыв может быть осуществлен только за счет использования нанотехнологии, которая позволяет создавать целый ряд принципиально новых производственных процессов, материалов и устройств на их основе. Расчеты показывают, что использование нанотехнологий может повысить основные характеристики полупроводниковых вычислительных и запоминающих устройств на три порядка, т. е. в тысячу раз! Это станет, безусловно, настоящей революцией в области информационных технологий и окажет огромное воздействие на экономическое и социальное развитие общества в XXI веке.

Однако нанотехнологию не стоит сводить только к локальному революционному прорыву в указанных областях (электроника, информационные технологии). Уже сейчас в нанотехнологии получен ряд исключительно важных результатов, позволяющих надеяться на существенный прогресс в развитии многих других направлений на-

уки и техники (медицина и биология, химия, экология, энергетика, механика и т. п.). Например, при переходе к нанометровому диапазону (т. е. к объектам с характерными длинами около 10 нм) многие важнейшие свойства веществ и материалов изменяются существенным образом. Речь идет о таких важных характеристиках, как электропроводность, коэффициент оптического преломления, магнитные свойства, прочность, термостойкость и т. п. На основе материалов с новыми свойствами уже сейчас создаются новые типы солнечных батарей, преобразователей энергии, экологически безопасных продуктов и т. п. Возможно, что именно производство дешевых, энергосберегающих и экологически безопасных материалов станет наиболее важным последствием внедрения нанотехнологий.

Уже созданы высокочувствительные биологические датчики (сенсоры) и другие устройства, позволяющие говорить о возникновении новой науки — нанобиотехнологии и имеющие огромные перспективы практического применения. Нанотехнология предлагает новые возможности микрообработки материалов и создания на этой основе новых производственных процессов и новых изделий, что должно оказать революционное воздействие на экономическую и социальную жизнь грядущих поколений.

#### Примеры практического применения нанотехнологий



**Рис. 2.** Прогноз экономических и социальных последствий внедрения нанотехнологий

## 1.4. Как ускорить развитие нанотехнологий?

### *Промышленность должна активнее внедрять новые методы!*

Основной причиной ускорения развития нанотехнологий в Японии стала активизация действий США в этом направлении. Ранее всегда считалось, что США являются мировым лидером в информационных технологиях и биологии, а Япония имеет очень высокие показатели во многих других областях, связанных с микро- или нанотехнологиями. Однако в период 1996–1998 годов Соединенные Штаты поставили своей целью стать мировым лидером практически во всех нанотехнологических исследованиях, для чего была разработана обширная программа, позднее оформленная в виде официально принятой Национальной Нанотехнологической Инициативы (ННИ) в январе 2000 года. Уже в 2001 году США планируют выделить на развитие нанотехнологий около 500 миллионов долларов, что означает рост расходов на 84% по сравнению с предыдущим годом. ННИ представляет собой стратегию и детальный план развития новых технологий на ближайшие 20 лет, причем в него включено большое число долгосрочных и среднесрочных фундаментальных исследований. Программа опирается на огромную экономическую и техническую базу США и является весьма внушительной как в количественном, так и в качественном отношении.

С другой стороны, японские достижения в нанотехнологии тоже соответствуют мировому уровню, однако Япония (в отличие от США) до сих пор не имеет общегосударственной стратегии развития в этой области, что не позволяет объединить должным образом усилия различных фирм и исследовательских организаций для получения реально значимых результатов. Изучая создавшуюся ситуацию, эксперты Кэйданрэн пришли к выводу, что японская промышленность должна, прежде всего, повысить свою конкурентоспособность в информационных технологиях и произвести серьезный пересмотр приоритетов своей научно-технической стратегии. Кэйданрэн считает тревожным тот факт, что США удалось «незаметно» обогнать другие страны в организации нанотехнологического прорыва. Исходя из этого, Кэйданрэн (в рамках своего Промышленно-технического совета) создала специальный отдел, который уже в августе 2000 года опубликовал доклад (как говорят японцы, «задание на завтра»), озаглавленный «Нанотехнология на пороге XXI века» и нацеленный на решительную интенсификацию нанотехнологических исследований. Еще через несколько месяцев, в марте 2001 года Кэйданрэн опубли-

ковала более детальную и деловую программу стратегии развития нанотехнологии в Японии, озаглавленную «Нанотехнология и будущее общество. n-Plan21» (о котором подробнее рассказывается в главе 6). Основными положениями этой программы являются следующие:

1. Япония должна сконцентрировать усилия, прежде всего, в нескольких ключевых отраслях (информационные технологии, биология, охрана окружающей среды, энергетика, материаловедение), имеющих приоритетное значение для намеченной правительством цели — создания общества «гармонии с природой».

2. Исследования в этих направлениях должны быстро получить серьезную финансовую поддержку.

3. В течение 5–10 лет должны быть реализованы первые краткосрочные, так называемые «флагманские» проекты, на основе которых будут дальше осуществляться по-настоящему «революционные», фундаментальные исследования, для которых тоже необходимо выделить соответствующие финансовые средства.

4. На государственном уровне должна быть разработана общенациональная стратегия развития нанотехнологий. Необходимо создать систему взаимодействия между правительственными, промышленными и научными ведомствами и организациями и учреждениями, которая могла бы обеспечить быстрое и эффективное проведение исследований, а также внедрение их результатов в промышленное производство.

*Примечание.* В основном, из-за проблем нанотехнологии в конце декабря 2000 года и начале января 2001 года премьер-министр Японии создал Совет по согласованию и междисциплинарному сотрудничеству в научных исследованиях (см. дополнительный материал в конце главы 5).



## **Дополнительный материал к главе 1. Это интересно!**

### ***США стремятся угадать будущее нанотехнологии!***

В заявлении президента США Б. Клинтона 21 января 2000 года были указаны некоторые конкретные цели и ожидания, связанные с развитием нанотехнологий. В частности, президент особо выделил три направления исследований: создание новых материалов (очень легких и в десятки раз более прочных, чем привычная сталь), разработка запоминающих устройств повышенной мощности (способных сохранить всю информацию Библиотеки Конгресса США на крошечном чипе) и развитие новых методов борьбы с раковыми заболеваниями (позволяющих обнаруживать опухоль

Таблица 2

Этапы выработки государственной стратегии  
в развитии нанотехнологий

<b>США</b>		<b>Основная идея — осознание стратегической ценности нанотехнологий в информатике и биологии</b>
<b>1996–1998 гг.</b>		Сбор данных о нанотехнологиях в разных странах
<b>2000 г.</b>	<b>февраль</b>	Принятие Национальной Нанотехнологической Инициативы
	<b>август</b>	Принятие плана реализации НИИ
<b>Япония</b>		<b>Основная идея — осознание важности выработки общенациональной стратегии в отношении нанотехнологии</b>
<b>2000 г.</b>	<b>июнь</b>	Организация специального комитета по нанотехнологии
	<b>июль</b>	Публикация доклада «Нанотехнология на пороге XXI века»
	<b>сентябрь</b>	Организация семинаров и встреч, посвященных стратегии ускоренного развития нанотехнологии в Японии
<b>2001 г.</b>	<b>январь</b>	Создание Совета по согласованию и междисциплинарному сотрудничеству в научных исследованиях
	<b>март</b>	Публикация программы «Нанотехнология и будущее общество. n-Plan21»

буквально при появлении первых пораженных клеток). Решение этих весьма важных проблем, действительно, включено в 20-летний план развития нанотехнологии США, но читателя, естественно, заинтересует вопрос о том, насколько реальны и оправданы надежды американцев?

### Можно ли создать сверхлегкие и сверхпрочные материалы?

На самом деле основа для таких материалов уже создана. Ученые обнаружили, что в определенных условиях (например, длительный нагрев и т. д.) атомы углерода переходят в новое фазовое состояние — углеродные нанотрубки. Тонкие нити участков таких образований легко наблюдаются в электронном микроскопе. Углеродные нанотрубки не только намного легче и прочнее металлов, но и обладают полупроводниковыми характеристиками, которые сейчас интересуют исследователей всех стран.

### Можно ли сконструировать крошечные запоминающие устройства с огромным объемом памяти?

Читатели знают, что повышение быстродействия компьютеров обусловлено уменьшением размеров элементов электрических цепей, обеспечивающих прохождение и переработку поступающих сигналов. Однако размеры электронных сетей и линий нельзя



уменьшать до бесконечности, поскольку уже при существующем уровне миниатюризации начинаются новые физические явления (квантово-механические эффекты). Ученые давно думают над тем, как использовать эти эффекты для создания новых устройств и приборов. Нанотехнологии дают нам возможность сконструировать, например, электрические переключатели, которые будут «срабатывать» от поступления в них одного-единственного электрона. Устройства такого типа дают возможность реально создавать сверхмощные и сверхбыстрые вычислительные и запоминающие системы крошечных размеров.

### **Ранняя диагностика раковых заболеваний**

Ученые всерьез заняты разработкой медицинских микророботов (величиной с отдельную биологическую клетку), которые можно «запускать» в организм человека для диагностики и уничтожения требуемых вирусов или клеток пораженных тканей.