

В статье на основе анализа зарубежного опыта рассматриваются истоки формирования и последствия "ажиотажного" отношения к нанотехнологиям. Основное внимание уделяется историческим предпосылкам и социальным аспектам эволюционирования нанотехнологий на примере западных стран, а в перспективе - в приложении к нашей стране.

УРОКИ ЗАРУБЕЖНОГО НАНОБУМА

Ю. Д. Третьяков, Е. А. Гудилин

Среди многочисленных сериалов, которыми отечественное телевидение пичкает массовую аудиторию, недавно появился и такой, в котором "деревенский детектив" из Гавриловки достиг успеха в расследовании уголовного дела, используя приёмы нанотехнологий. Ещё раньше на нашем рынке появились солнцезащитные нанокремы, лечебные носки с наночастицами серебра и даже сапожный крем с нанодисперсным наполнителем. Наверное, в этом нет ничего удивительного, ведь ещё пять лет назад, 22 мая 2003 г., Президент РФ поручил правительству дать предложения по повышению результативности исследований и разработок в области наноматериалов и нанотехнологий. Потребовалось почти четыре года, чтобы появилась "Стратегия развития наноиндустрии", утверждённая Президентом РФ 24 апреля 2007 г. Спустя несколько месяцев были созданы государственная корпорация "Роснано" с колоссальным, по отечественным меркам, начальным уставным капиталом в 134 млрд. руб., выделенным из бюджета, и правительственный Совет по нанотехнологиям во главе с первым заместителем председателя правительства СБ. Ивано-

вым. Именно он оперативно отреагировал на шумиху вокруг нанотехнологий, заявив, что рекламировать продукцию со словом "нанотехнология" - это, по существу, трюк. К Совету по нанотехнологиям и Роснано это не имеет ни малейшего отношения. Продукция, которая рекламируется, не прошла, конечно, никакого лицензирования. Вряд ли там вообще есть какие-нибудь нанотехнологии, подчеркнул СБ. Иванов, простых граждан нужно об этом предупредить: их уже пытаются душить...

Возникает вопрос: а не лучше ли было бы нам с самого начала использовать уроки зарубежного нанобума, начавшегося существенно раньше, чем у нас, в США, Западной Европе, Японии и даже в Китае, и не наступать вторично на те же самые грабли? Настоящая статья преследует именно эту цель, тем более, что в последнее время появилась (правда, преимущественно на английском языке) обширная литература, подробно анализирующая различные аспекты развития нанотехнологий. Среди этих изданий, несомненно, выделяется книга Дэвида Берубе "Нанопурга. Правда о нанотехнологическом буме" (2006). Её автор - профессор университета Южная Каролина, советник по нанотехнологиям Национального научного фонда США, сумевший совместно со своими студентами собрать и проанализировать около 2000 статей, обзоров, монографий, документов, относящихся к проблеме развития нанотехнологий. Книга Д. Берубе заставляет читателя задуматься над вопросами:

- является ли нанотехнология технологией в общепринятом смысле слова или она в значительной мере сводится к так называемой "нанонауке"?
- что нового несёт нанонаука по сравнению с традиционными дисциплинами - химией, физикой, биологией?
- кто говорит правду о нанонауке: учёные, пытающиеся получить гранты на проведение исследований, бизнесмены, развивающие своё дело, или неформальные общественные группы, расце-



ТРЕТЬЯКОВ Юрий Дмитриевич – академик, декан факультета наук о материалах Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. ГУДИЛИН Евгений Алексеевич – член-корреспондент РАН, заместитель декана того же факультета.

нивающие развитие нанотехнологий как грядущую катастрофу для человечества в целом?

- следует ли верить прогнозам о наномашинах и нанороботах, которые могут выйти из-под контроля и уничтожить всё живое? Насколько токсичны и канцерогенны вещества в нанодисперсном состоянии?

В рамках задачи, сформулированной в названии статьи, нас более всего интересует, какие уроки могут и должны извлечь из зарубежного (в первую очередь американского) нанобума важнейшие его участники в России, включая научное и образовательное сообщество, государство и представляющие его структуры, бизнес, гражданское общество и средства массовой информации.

Начнём с учёных, деятельность которых инициировало само появление наноинженерии и нанотехнологий [1]. И хотя термин "нанотехнологий" впервые появился в литературе с лёгкой руки японского инженера Н. Танагучи в 1974 г., идеологические установки новой науки были впервые сформулированы выдающимся физиком-теоретиком, одним из активных участников Атомного проекта нобелевским лауреатом Р. Фейнманом в его знаменитой лекции, прочитанной в Калифорнийском университете на рождественском вечере 29 декабря 1959 г. Тем самым Р. Фейнман намного предвосхитил появление техники, позволяющей реально осуществлять процессы создания структур на атомном уровне, названные им технологией "снизу - вверх".

Справедливости ради следует сказать, что инициатором процессов, породивших нанобум, стал не Р. Фейнман, хорошо известный лишь среди учёных, а Э. Дрекслер, автор скандально знаменитой книги "Машины созидания: наступление нанотехнологической эпохи" [2], опубликованной в 1986 г. и широко разрекламированной Б. Джоем в статье "Будущее не нуждается в нас". В книге Э. Дрекслера показаны блестящие перспективы развития наноинженерии и вместе с тем выдвинута идея так называемой "серой слизи", смертельно напугавшая общество. И хотя позже Э. Дрекслер отказался от идеи ассемблеров, способных воспроизводить самих себя, именно он и его довольно многочисленные последователи оказались ответственными за то, что в мире сейчас существуют два принципиально различных подхода к нанотехнологиям. Один, связанный с деятельностью промышленных корпораций, университетских и национальных лабораторий, базируется на достижениях химии, физики, материаловедения и ведёт к революционному технологическому прорыву. Другой основан на представлениях научной фантастики о возможностях революционизировать человеческие способности благодаря развитию нанотехнологий как на благо, так и во вред всем нам. Естественно, что последний подход оказыва-

ет значительно большее влияние на людей, не имеющих специального научного или технического образования. И всё же следует признать, что именно амбициозные идеи Дрекслера о перспективности молекулярной индустрии, основанной на процессах механической сборки наноструктур с уникальными свойствами, растиражированные его последователями, привлекли внимание к нанотехнологиям как бизнесменов, так и влиятельных конгрессменов и советников президента США, что привело в конечном счёте к появлению Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ).

Другое дело, что в процессе подготовки ННИ создатели нанотехнологической программы под давлением представителей бизнеса, опасавшихся, что негативный имидж Дрекслера в глазах общества отрицательно скажется на программе в целом, откристились как от самого Дрекслера, так и от его устрашавшей всех идеологии "серой слизи". Следует добавить, что видные представители научного сообщества также отрицательно отнеслись к творчеству этого автора, расценив его как псевдонауку, научную фантастику и нереальную утопию.

Самыми активными и последовательными оппонентами Э. Дрекслера стали профессор Гарвардского университета Д. Уайдсайдс и нобелевский лауреат Р. Смолли. Первый из них обратил внимание на то, что способные к саморазмножению бактерии имеют размер от 1 до 3 мкм, но не нанометров. С этим связана их достаточно сложная молекулярная структура, обеспечивающая возможность осуществления процессов обмена веществом и энергией с окружающей средой и запрограммированная способность воспроизводить самих себя. Нанороботы же имеют слишком малый размер и относительно примитивную молекулярную структуру, недостаточную для осуществления функций самовоспроизводства. Конечно, возможна определённая аналогия нанороботов и вирусов, имеющих функцию саморазмножения, которая использует биологический код, записанный на биополимере, однако за всю историю человечества биологические аналоги нанороботов не смогли (да и не могли принципиально) превратить Землю в "серую слизь".

Что касается Р. Смолли, то помимо научного у него был огромный коммерческий интерес к развитию нанотехнологий. Он инициировал создание крупнейшей в мире компании по производству одностенных углеродных нанотрубок - Carbon Nanotechnologies Inc., использующей созданный самим Смолли уникальный реактор высокого давления. Эта компания, являющаяся собственницей свыше 100 патентов, контролирует производство многих функциональных материалов на основе углеродных нанотрубок. Смолли оказался ещё

более нетерпим к идеям Дрекслера, чем его коллеги по научному сообществу, и это особенно проявилось в их дискуссии на страницах журнала "Chemical and Engineering News" в декабре 2003 г. Начисто отрицая саму идею саморазмножения нанороботов, Смолли подсчитал, что если бы такая возможность и существовала, то нанороботу, способному мультиплицировать себя со скоростью 10^6 с, потребовалось бы 20 млн. лет, чтобы накопить одну унцию продукта саморазмножения. Однако и этот скромный по результатам процесс невозможен, так как он потребовал бы огромных энергетических затрат.

Национальная нанотехнологическая инициатива, декларированная президентом США Б. Клинтон в январе 2000 г., оказалась чуть ли не единственной, безусловно поддержанной администрацией Дж. Буша, и это неслучайно, если учесть, что наиболее рьяными защитниками нанотехнологий были самые влиятельные в конгрессе политические противники - сенатор Дж. Либерман и бывший спикер Н. Джингрис. Самое примечательное, что значительную часть бюджетных средств, выделенных на развитие нанотехнологий в США и превысивших сейчас 1 млрд. долл. в год (около 6 млрд. долл. со времени принятия ННИ), составляют расходы на развитие фундаментальных исследований, выполненных в университетах, национальных лабораториях и специально созданных центрах превосходства (Center of Excellence). Любопытно, что эта сумма заметно (особенно с учётом инфляции и коррупции) превышает бюджет госкорпорации "Роснано", однако принципиальное различие здесь в том, что Роснано не имеет права расходовать средства на фундаментальные исследования наносистем, независимые от крупных промышленных проектов, направленных на создание вполне определённых нанопродуктов и наноматериалов, да и то на возвратной основе.

Как тут не вспомнить приведённые в книге академика Ю.А. Золотова слова из доклада президента США Б. Клинтона, представленного прессе 3 августа 1994 г.: "Будущее наших детей определяется тем, будем ли мы продолжать вкладывать средства в фундаментальную науку... Для того чтобы сохранить высокий уровень исследований, их необходимо вести широким фронтом. Различные научные направления и соответствующие передовые технологии тесно связаны друг с другом. Прогресс в одной области часто приносит непредсказуемые важные результаты в совсем других областях. Более того, природа раскрывает свои наиболее ценные секреты тем, кто хорошо подготовлен и настойчив, причём этот процесс не поддаётся детальному планированию" [3].

Эти утверждения особенно актуальны в применении к нанотехнологиям, которые отличают-

ся повышенной наукоёмкостью и для которых путь от лабораторных поисков к готовым нанопродуктам, несомненно, более сложен, чем при создании обычных промышленных продуктов. Попытки детерминировать научный поиск, загнать его в жёсткое прокрустово ложе, по нашему мнению, обречены на неудачу. Развитие нанонауки, нанотехнологии и nanoиндустрии в мире, вполне возможно, станет самым тяжёлым испытанием для доминирующей в России жёсткой системы административно-бюрократических отношений, неотъемлемой частью которой, как сказал академик Е.М. Примаков, стали коррупция и сращивание чиновничества с бизнесом. Есть все основания полагать, что до тех пор, пока экстраприбыли будут обеспечиваться за счёт нефтяного, газового и строительного бизнеса, воротилы оного предпочтут воздержаться от серьёзных инвестиций в развитие по-настоящему инновационных, но одновременно рискованных по последствиям вложений в создание nanoиндустрии.

В этом смысле за рубежом ситуация кажется, несомненно, более благоприятной. В США, Японии и Южной Корее частный бизнес инвестирует наноразработки в объёме, не уступающем бюджетным расходам, и только за пять лет, с 1999 до 2004 г., размеры частных инвестиций в nanoиндустрию возросли в 10 раз!

А теперь немного статистики. В 2004 г. число компаний, реализующих нанотехнологические проекты, достигло 1500, причём эта цифра удвоилась в течение одного года, а свыше половины этих компаний принадлежит США. Из их общего числа лишь 10% приходится на долю крупных, а свыше 40% - это мелкие компании. Примерно столько же составляют малые предприятия и фирмы, функционирующие в рамках университетов, и приблизительно в таком же соотношении распределена интеллектуальная собственность, выражаемая числом нанотехнологических патентов и лицензий. Что касается географического "расклада", то подавляющее преимущество сохраняется за США. На долю остальных стран приходится около половины, среди них лидируют страны ЕС, Япония, Южная Корея и Китай, доля которого растёт наибольшими темпами.

По словам Б.П. Симонова, руководителя Роспатента, на сегодняшний день у нас нет ни одного нанопатента, хотя в мире их зарегистрировано уже около 10 тыс. и 2 тыс. имеют правовую охрану на территории РФ. Было бы совершенно несправедливо связывать это с отсутствием нанотехнологических идей в нашей стране, как недавно заявил бывший глава Правительства РФ В.А. Зубков. Президент Международной академии развития бизнеса А.И. Орлов, осуществивший всесторонний анализ особенностей системы российского предпринимательства, пришёл к па-

радоксальному заключению: в России нет идей, точнее, нет планомерно и законодательно урегулированной системы работы с идеями. Как ни странно, но в соответствии с российским законодательством авторская идея не является предметом правовой охраны. Все предшествующие годы в нашей стране стимулировались, вознаграждались и поощрялись только идеи, воплощённые в конкретных технических решениях. Кстати, такие ограничения отсутствуют в патентном праве США. Но получить международный патент российскому исследователю не по карману, так как до сих пор не урегулирована проблема государственной поддержки этой деятельности.

Но вернёмся к особенностям бизнеса в условиях так называемого нанобума. Как уже отмечалось выше, участниками бизнеса являются как крупные, так и мелкие компании, нередко создаваемые профессорами, сотрудниками и даже студентами университетов, которые, реализовав нанотехнологические идеи в лабораторных условиях, желают превратить их в источник прибыли. Но для создания фундамента, позволяющего производить коммерческие нанопродукты, необходимы огромные средства, которыми малые фирмы не располагают. Выход находят либо в поддержке университета, если он достаточно богат, либо в переходе под крыло крупных компаний. В нашей стране оба пути нереалистичны. Отечественные университеты, даже МГУ, имеют несопоставимо малый бюджет по сравнению с крупными американскими, такими как Корнелльский и Гарвардский университеты, Массачусетский технологический институт, Калифорнийский технологический институт, а крупные частные компании пока по-прежнему не идут в инновационную сферу вообще и в нанотехнологии в частности. Между тем Роснано может финансировать наноиндустрию бюджетными средствами из расчёта, что "в соотношении семь к одному деньги должен дать бизнес", как сказал в интервью газете "Коммерсант" (31.03.2008) бывший тогда генеральным директором этой корпорации Л. Меламед. Кроме того, он заявил: "С мелкими проектами мы не работаем напрямую, а будем соинвестировать их через инкубаторы, посевные и венчурные фонды". Между тем эффективность крупных проектов как основной формы развития нанобизнеса была поставлена под сомнение исходя из зарубежного, в первую очередь американского, опыта. Малые частные компании обычно более мобильны и по опыту развития информационных технологий, Интернета, персональных компьютеров добиваются большего успеха с революционными технологиями, к числу которых, несомненно, относятся и нанотехнологии. Однако нанобизнес отличается от интернет-бизнеса тем, что он благодаря крайне высокой наукоёмкости базируется на более защищенной интеллектуальной собственно-

сти, которую легко запатентовать, но крайне трудно скопировать, не располагая лицензией. И далее, чем сложнее и оригинальнее нанопро-дукт (к получению которого в конечном счёте следует стремиться), тем труднее окупить расходы на его разработку. С этой точки зрения гораздо более привлекательны относительно простые нанопродукты, такие как наносенсоры на основе металлических сплавов или полимеров.

Есть мнение, что малый бизнес должен развиваться вокруг крупных компаний, - так, например, считает Е.М. Примаков. Однако указанная выше специфика зарубежного нанобизнеса свидетельствует об обратном. По данным Национального научного фонда США, каждый доллар, вложенный в малые предприятия, приносит в среднем в 24 раза больше разработок, по сравнению с долларом, вложенным в крупные компании. Недаром основатель и владелец одной из первых американских нанотехнологических компаний ZyVex Дж. фон Эр, критикуя идею создания нанотехнологической мегакомпании в России, заявил, что если есть много денег, то надо запускать кучу малых проектов, направленных на решение важных, но предельно конкретных задач. А в России пока нет индустриальной базы, бизнес-планов и традиций венчурного финансирования, чтобы создавать небольшие компании, которые потом будут расти, как Google.

Американский опыт показывает, что нанотехнологический бизнес не может быть успешным, если не привлекать в качестве консультантов высококвалифицированных специалистов из числа университетских профессоров. И хотя такие консультации стоят очень дорого, именно они позволяют сберечь многие миллионы долларов, вкладываемые в развитие производства нанопро-дуктов. М. Ратнер, профессор Норгвестернского университета, анализируя пути повышения прибыльности нанобизнеса, пришёл к такому выводу: задача заключается не в том, чтобы построить бизнес, подходящий для нанотехнологии, а в том, чтобы создать нанотехнологии, подходящие для бизнеса.

А теперь перейдём к вопросу о позиции гражданского общества в условиях зарубежного нанобума. Можно с полной уверенностью утверждать, что эта позиция неоднозначна и в существенной мере определяется информированностью общества о позитивных и негативных тенденциях, связанных с развитием нанотехнологии и появлением различных нанопро-дуктов на рынке услуг. Результаты социологических опросов, проведённых в США на протяжении последних пяти лет, показывают, что о существовании нанотехнологии знают далеко не все. Наиболее информированными (71% опрошенных) оказались молодые люди в возрасте от 18 до 22 лет, тогда как немногим более

70% опрошенных ничего не знают о нанотехнологиях - это дети моложе 13 лет и пожилые люди старше 60.

Всероссийский центр исследования общественного мнения (ВЦИОМ) подвёл итоги опроса, проведённого по заказу Роснано в апреле 2008 г., в котором приняли участие 1600 граждан Российской Федерации в возрасте 18 лет и старше, постоянно проживающих на территории России, - это жители 153 населённых пунктов из 46 регионов страны. Доля респондентов, слышавших о нанотехнологиях, составила 43% всех опрошенных. Среди основных областей применения нанотехнологии респонденты называли: электронику - 43%, медицину - 39% и космическую промышленность - 31%. Наиболее популярным источником информации о нанотехнологиях считаются телевизионные программы - именно на них указал 81 % участников опроса; 26% респондентов в качестве такого источника назвали периодические издания, 10% - радиoprogramмы и 10% - Интернет. Большая часть опрошенных (74%) считает, что нанотехнологии в России, так или иначе, развиваются, а более трети (41%) интересуется их развитием. Нанотехнологии принесут людям пользу - таково мнение подавляющего большинства участников опроса (81%). Половина опрошенных (52%) купила бы продукцию, в которой используются нанотехнологии. Интересно, что подобный же опрос, проводившийся годом ранее среди участников первой Всероссийской интернет-олимпиады по нанотехнологиям [4] на сайте www.nanometer.ru (средний возраст респондентов 20.5 лет), показал, что наибольший интерес для них представляет наномедицина и только потом - электроника (в вопросе о будущей карьере эти области опять менялись местами), а самым важным и надёжным источником является учебное заведение, в котором тот или иной участник учился (СМИ находятся на втором, а Интернет - на третьем месте).

Среди немецких компаний, производящих нанодисперсные материалы, лишь одна треть уделяет серьёзное внимание оценке рисков, связанных с потреблением нанопродуктов, хотя в медицине уже сформировалось самостоятельное направление исследований, названное нанотоксикологией.

Существует пока не очень многочисленная, но довольно активная группа лиц, последовательно выступающих против любых нанопродуктов. Многие из них группируются вокруг Э. Гольд Смита, владельца и редактора довольно популярного журнала "Ecologist", в котором печатаются научно-популярные статьи, доступные широкому кругу людей, не имеющих специального образования. Э. Гольдсмит выступил в качестве оппонента нобелевскому лауреату Г. Крото в популярной программе "Сегодня" на радиостанции Би-би-си и

заявил, что люди напуганы многочисленными ошибками учёных, создавших ДДТ, фреоны, талломиды (ЛСД). По его мнению, последствия развития нанотехнологии могут оказаться намного более серьёзными, поэтому необходимо его затормозить и организовать дебаты, пока не поздно. Э. Гольдсмит, известный по выступлениям против генетически модифицированных продуктов, тесно связан с идеологией антиглобализма и движением "зелёных". Он более всех других оказал решающее влияние на негативное отношение британского принца Чарльза к нанодисперсным продуктам как канцерогенам. Но как бы то ни было, эффективность любых широких дискуссий о судьбах нанотехнологии требует участия в них тех, кто имеет хотя бы минимальные познания в области физики, химии, биологии, а их можно приобрести, используя программы дистанционного образования, реализуемые сейчас как за рубежом, так и в России.

Важную роль в формировании позитивного имиджа нанотехнологии сыграл и продолжает играть Институт предвидения (Foresight Institute), созданный Э. Дрекслером и его бывшей женой К. Петерсон. Институту оказывают поддержку такие крупные компании, как Ford, Sun Microsystems, Apple Computer, JEOL и др. Цель института - поиск путей улучшения качества жизни людей, особенно в связи с развитием молекулярной нанотехнологии. Его задача - способствовать пониманию основных направлений и последствий развития нанотехнологии и информировать широкую общественность и лиц, принимающих решения, о прогрессе в области нанотехнологии. Институт организовал превосходную систему распространения информации, включая Интернет. За более чем 20-летний период своего существования институт трансформировался, сориентировавшись в последнее время на нанотехнологическое сообщество. В мае 2005 г. институт был переименован в Foresight Nanotech Institute. В связи с этим он видит свою новую миссию в поиске таких путей развития нанотехнологии, которые будут способствовать созданию новых экологически чистых источников энергии, обеспечению потребностей в чистой воде, улучшению здоровья и увеличению продолжительности жизни, максимальному повышению продуктивности сельскохозяйственного производства, доступности информационных технологий повсюду, продвижению в освоении космического пространства. В качестве конкретного результата деятельности обновлённого института следует назвать обширный аналитический обзор "Технологическая дорожная карта высокопроизводительных наносистем", созданный под контролем первоклассных специалистов в области нанотехнологии, включая П. Алайвизейтоса (Калифорнийский университет в Беркли), У. Годдарда (Калифорнийский технологический

институт), А. Коучака (Battele Memorial Institute), Д. Ранделла (ZyVex Labs), Д. Гиббса (Брукхейвенская национальная лаборатория) и самого Э. Дрексlera (компания Nanogex), на деньги (250 тыс. долл.) фонда Waitt Family Foundation. Обзор, выставленный в Интернете в оригинальной версии и в переводе на русский язык, посвящен технологиям создания наносистем с атомарной точностью.

Наконец, о роли средств массовой информации в зарубежном нанобуме. Нет сомнений, что именно они в существенной мере ответственны за само возникновение нанобума, можно даже сказать, наноистерии. Радио, газеты, телевидение, Интернет и кино внесли в это свою лепту, особенно в США. Нанотехнологии стали темой футуристических публикаций, научно-фантастических рассказов, блокбастеров, телевизионных сериалов и кинофильмов. Нечто подобное, хотя и в более скромных масштабах, происходит и в России. К сожалению, журналистское сообщество не всегда ответственно относится к освещению нанотехнологических проблем, но это в определённой мере можно оправдать их исключительной сложностью и многоплановостью. Этические дебаты вокруг нанотехнологии требуют участия широкого круга специалистов, включая не только учёных и инженеров, но и социологов, психологов, юристов, философов, экономистов, бизнесменов и политиков.

Итак, рассмотренные выше особенности зарубежного нанобума позволяют извлечь определённые уроки и сделать некоторые выводы применительно к российской действительности. Первый из них касается непростительно малого финансирования фундаментальных исследований в области нанонауки и нанотехнологии в России. В США значительную часть (не менее одной трети) бюджетных расходов составляют средства на проведение исследований в этой области, осуществляемых в университетах и национальных лабораториях. По оценкам члена-корреспондента РАН И.В. Мелихова [5], финансирование фундаментального поиска в рамках каждой автономной нанотехнологии целесообразно держать на уровне 2/3 общих затрат. Лежащая на поверхности составляющая, ставшая безусловным приоритетом деятельности Роснано, позволяет "подтянуться" к разработкам мирового уровня, но никогда не обеспечит приоритета России в области нанотехнологии. Отечественная промышленность в таком случае всегда будет в состоянии перманентного отставания, даже если упор будет сделан на сфокусированное развитие сформулированных сейчас так называемых "критических технологий". Если будет развиваться только эта составляющая (так, собственно, и сформулированы сейчас положения Фундаментальной целевой научно-технической программы РАН и цели Рос-

нано, нарушится цепочка, необходимая для устойчивой, стабильной реализации перехода от исходной научной идеи к её конечному материальному воплощению - товару. Поэтому так называемые инновации будут основаны лишь на сиюминутных, часто случайных находках, приоритет которых давно уже закреплён за нашими западными или азиатскими коллегами, в подобных случаях это автоматически отсекает успешный выход на мировой рынок.

Россия, к сожалению или к счастью, должна использовать "преимущество отстающего", то есть не развивать тупиковые направления, а сосредоточиться на наиболее перспективных. Многие из таких направлений входят в "критические технологии", однако в них не учитываются те направления, которые ещё только будут открыты и обнаружены в будущем. Формирование новых, гораздо более перспективных направлений развития нанотехнологии возможно лишь в результате фундаментального научного поиска, который должен стать важнейшей составляющей борьбы за приоритет России в данной области. К сожалению, у нас фундаментальное направление научных изысканий в настоящий момент находится в тени. Это абсолютно недопустимая ситуация, поскольку именно здесь наша страна может обеспечить себе устойчивую платформу для рывка вперёд. Кроме того, в случае развития фундаментальных исследований в области нанотехнологии в какой-то степени будет восстановлена историческая справедливость, поскольку предпосылки к развитию нанотехнологии в мире были заложены в том числе и российскими учёными. И здесь определяющую роль сыграла и должна дальше играть Российская академия наук - оплот нашей фундаментальной науки, имеющей мировое признание. Созданная несколько месяцев назад Комиссия РАН по нанотехнологиям во главе с нобелевским лауреатом академиком Ж.И. Алфёровым разработала обширную программу фундаментальных исследований в области нанотехнологии, получившую одобрение Общего собрания РАН, но так и не услышанную властью.

Другой урок зарубежного нанобума сводится к необходимости создания мощных научно-образовательных центров (НОЦ), оснащённых самым современным научным оборудованием, способным обеспечить подготовку высококлассных специалистов, дав им полноценное междисциплинарное образование. И хотя необходимость целенаправленной подготовки нанотехнологических кадров осознаётся всеми без исключения, многочисленным НОЦ, возникающим в нашей стране, по-прежнему не очень приспособлены для проведения современных фундаментальных исследований, особенно связанных с изучением механизмов и процессов атомно-молекулярной сборки. То же

самое можно сказать и о междисциплинарном образовании, опыт организации которого в нашей стране относительно невелик и ограничивается несколькими классическими и технологическими университетами. Между тем, по оценке М. Роко, ведущего американского промоутера нанотехнологий, для достижения рынком нанопродуктов к 2015 г. объёма продаж в 1 трлн. долл. только в США потребуется подготовить 800 тыс. специалистов. А так как мы поставили задачу обеспечить отечественными нанопродуктами до 4% мирового рынка, необходимо иметь не менее 30 тыс. квалифицированных или переквалифицированных на нанотехнологии специалистов. И здесь приходит в голову не слишком лестное для нас сравнение: в РФ уже сейчас в частных охранных агентствах и компаниях задействовано около 800 тыс. человек, и хотя среди них есть немало молодых, трудно рассматривать их как нанотехнологический резерв. Кстати, упомянутая нами программа фундаментальных исследований РАН содержит в качестве важнейшей составляющей раздел, посвященный подготовке кадров для нанотехнологии (разработан под руководством ректора МГУ академика В.А. Садовничева). При всех условиях система нанотехнологических НОЦ, разрабатываемая в нашей стране, будет отличаться от американской, которая базируется на университетах, а у нас в качестве "центров кристаллизации" могут выступать также академические институты (во всяком случае, некоторые из них). Создание таких центров совершенно необходимо не только для аналитического, методического и научного обеспечения передовых научных исследований, но и для формирования системы эффективного нанотехнологического образования и переподготовки специалистов. Последнее особенно важно для насыщения формирующейся нанотехнологической отрасли молодыми и квалифицированными кадрами, а также для предотвращения "утечки умов", приносящей существенный вред системе профессиональной подготовки и экономике России.

Следующий урок зарубежного нанобума касается роли бизнеса в развитии нанотехнологии. Помимо крупного бизнеса, не всегда проявляющего интерес к чрезвычайно наукоёмкому производству нанопродуктов, не способному к достаточно быстрой отдаче, необходимо активно вовлекать малый бизнес по зарубежному образцу. С учётом специфики нанотехнологического бизнеса в качестве субъектов могли бы выступать как сотрудники университетов или академических институтов, так и сами эти организации. Такое станет возможным, когда вступит в силу подготовленный Минобрнауки законопроект, который, по словам министра А.А. Фурсенко, даст возможность госбюджетным учреждениям образования и науки создавать малые предприятия,

внося в качестве вклада оценённые права на результаты интеллектуальной деятельности.

Ещё один исключительно важный урок зарубежного нанобума связан с необходимостью изучения социальных аспектов и последствий развития нанотехнологии в России. В 2000 г. Национальный научный фонд США впервые провёл широкую дискуссию на тему "Социальное значение нанонауки и нанотехнологии" с участием учёных, бизнесменов и политиков. В ходе дискуссии было наглядно показано, что междисциплинарность нанотехнологии подразумевает не только интеграцию различных естественных наук (физика, химия, биология), но и интеграцию естественных наук с гуманитарными (социология, этика, психология). Проблеме оценки рисков, связанных с производством и применением нанопродуктов, следует уделить исключительное внимание, создав независимую сертификационную службу для выработки стандартов, метрологии и объективной оценки качества нанопродуктов. Из общей суммы расходов на развитие нанотехнологии, оценивавшейся в 2005 г. в 9.6 млрд. долл., на исследования потенциальных рисков в мире было израсходовано 800 млн. долл., и эта сумма рассматривается специалистами как непросто малая. Развитие нанотоксикологии, в том числе и в России, должно стать важнейшим элементом nanoиндустрии. В то же время следует отметить, что эта проблема является прежде всего предметом фундаментальных и практико-ориентированных исследований и её использование в политических целях может привести к развитию в обществе необоснованных нанофобий, а также к созданию излишне жёсткой запретительной системы регистрации и использования нанопродуктов, что нанесёт существенный вред развитию нанотехнологии.

Наконец, зарубежный опыт (особенно накопленный в США и странах ЕС) применительно к нашей стране показывает необходимость создания целостной системы подготовки всего российского общества к переменам, связанным с развитием нанотехнологии и использованием нанопродуктов, включая разработку новых школьных и дистанционных курсов, выпуск научно-популярной литературы, телевизионные передачи, фестивали науки и интернет-олимпиады.

Таким образом, уроки зарубежного нанобума становятся ценным практическим опытом для формирования взаимосвязанных направлений развития нанотехнологии в России. Игнорирование накопленных фактов может привести к весьма плачевным последствиям, которых хотелось бы избежать за счёт дальновидного планирования всех научных, технологических, экономических и социальных аспектов развития нанотехнологии в нашей стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Третьяков Ю.Д.* Проблема развития нанотехнологий в России и за рубежом // Вестник РАН. 2007. №1.
 2. *Drexler E.* Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology. Doubleday, 1986.
- Золотое Ю.Л.* О химическом анализе и о том, что вокруг него. М.: Наука, 2004.
Международный журнал альтернативной энергетики и экологии. 2008. № 1.
- Мелихов И.В.* "Золотое сечение" нанотехнологической науки // Вестник РАН. 2007. № 11. С. 988.