

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ

Нанотехнология (НТ) относится к общецелевым: подобно химии она имеет широкий спектр приложений на различных этапах производственного процесса; подобно электричеству – способна создавать совершенно новые возможности, которые постепенно преобразуют все аспекты деятельности человека. На развитие нанотехнологии в мире уже инвестировано свыше 50 млрд. долларов. Несмотря на начавшуюся отдачу от этих инвестиций, на пути коммерциализации нанотехнологии существует еще много барьеров.

Ожидаемые коммерческие и стратегические выгоды от применения НТ столь высоки, что возникла настоящая конкуренция государств и компаний за овладение ими. Вслед за США более 60 стран приняли собственные национальные нанотехнологические инициативы (НИИ), рядом стран разработаны стратегические планы, созданы специализированные научно-технологические и инновационные парки, венчурные фонды и т.д. Если в год принятия НИИ США в мире насчитывалось около 10 частных нанотехнологических компаний, то в настоящее время их число превышает 1600. Все 500 компаний, работающие в сфере материаловедения, электроники или фармацевтики, включенные в список журнала "Форчун", сделали инвестиции в НТ после 2002 года.

Для НТ надежные данные об экономических результатах (доходы, доля рынка, товарооборот и т.д.) пока отсутствуют. Чтобы оценить конкурентные позиции страны, приходится использовать такие входные показатели, как государственные и частные инвестиции в НИР, и такие выходные наукометрические индикаторы, как научные статьи, патенты и т.д.

Эти показатели дают представление о научно-технологическом заделе, который может послужить фундаментом для нанотехнологических инноваций.

Стремление добиться успеха в нанотехнологической гонке подталкивает рост мировых инвестиций в развитие НТ (рис.1). Государственные инвестиции, как правило, – долгосрочные исследования, частные – это прикладные НИР. Инвестиции в России в НТ пока значительно скромнее, чем в ведущих странах. Консультационной компанией Lux Research (США) приводится рейтинг первой десятки стран по размеру государственного финансирования НИР в области НТ в 2006 году (в пересчете по паритету покупательной способности): США (1775)*, Китай (906), Япония (889), Южная Корея (563), Германия (508), Франция (403), Тайвань (249), Великобритания (227), Индия (186), Россия (184).

Хотя опубликовано уже достаточно наукометрических исследований, посвященных глобальным процессам развития НТ, оценке позиций различных стран в нанотехнологической гонке, обратимся к показательному, с точки зрения автора, примеру.

Наноматериалы составляют важнейшую часть НТ, непосредственно пересекая грань между нанонаукой и нанотехнологией и связывая их вместе. Открытие в 1985 году фуллеренов вызвало к жизни производство и применение структур и устройств посредством управления формой и размерами на

*В миллионах долларов.



Рис.1 Мировые инвестиции в исследования и разработки в области НТ

уровне нанощкалы. Последовавшее в 1991 году открытие углеродных нанотрубок (УНТ) усилило эту связь – УНТ стали идеальным материалом для создания практически полезных эффективных наноустройств (наносенсоров, дисплеев на нанотрубках, термоэлектрических преобразователей и т.д.). Учитывая сказанное, УНТ можно выбрать в качестве своеобразной "модели" для анализа тенденций и обсуждения проблем развития НТ.

Развитие исследований и потенциал применения УНТ. Журнальные публикации в силу их массовости наиболее ценны для анализа масштабов, структуры и источников развития исследований. В Science Citation Index (БД SCI) за 1991–2005 годы найдено 12410 публикаций, посвященных изучению нанотрубок*. Динамика активности стран представлена на рис.2.

На примере нанотрубок достаточно хорошо видна коррелируемость уровня государственного финансирования НИР в области НТ с библиометрическими показателями. После первых работ японцев и россиян лидерами по количеству публикаций стали ученые из США. В последние годы реальную конкуренцию им составляют только представители Китая. Ученые из Южной Кореи опубликовали свои первые работы по УНТ лишь в 1997 году, однако в 2001 году уже обошли Германию и вышли на четвертое место в мире. Россия с 1999 года по количеству ежегодных публикаций занимает восьмое место, однако и здесь в последние годы нас настигает Тайвань. Анализ показал:

- США лидируют почти по всем библиометрическим показателям (количество публикаций, цитируемость, доля часто

*Поиск производился по ключевым словам в названиях публикаций.

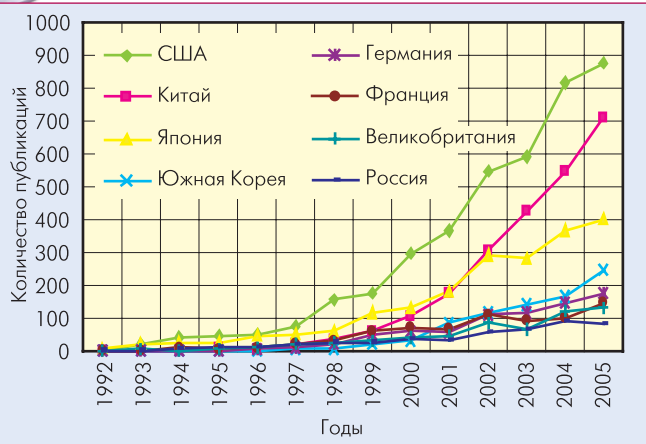


Рис.2 Количество публикаций по нанотрубкам в разных странах (БД SCI)

цитируемых публикаций и др.). США практически первыми перенесли акцент с изучения фуллеренов на более перспективные УНТ – в 2000 году число публикаций по УНТ превысило этот показатель по фуллеренам, а в 2003 году разрыв был уже в разы.

- Цитируемость российских работ уступает средним показателям цитируемости публикаций по УНТ, однако за сравнимый период она выше цитируемости работ в таких отраслях науки, как физика и химия.
- Россия в 2003–2005 годах имела соавторские связи со всеми опережающими ее по числу публикаций странами, причем наиболее часто с США, Великобританией и Германией.
- Доля публикаций по нанотрубкам, имеющих международное соавторство, уступает аналогичному показателю для фуллеренов. Кроме того, интенсивность международного сотрудничества в работах по УНТ демонстрирует тенденцию к снижению, что может частично отражать возрастающее соперничество в данной области.
- Судя по количеству работ, мировой интерес в изучении углеродных наноструктур после 2002 года окончательно сместился в пользу УНТ.

Отмеченная в последнем пункте тенденция была, к сожалению, не реализована Россией. Уже в 1993 году государство сформировало в рамках ГНТП "Актуальные направления в физике конденсированных сред" направление "Фуллерены и атомные кластеры". Дополнительную поддержку развитию направления оказали гранты РФФИ, по количеству которых отечественный фонд превзошел даже Национальный научный фонд США [3]. В качестве своеобразного "отклика" можно отметить: третье место России по количеству публикаций в области фуллеренов в 2003 году [4]; свыше полутора сотен патентоспособных изобретений (БД Роспатента); один американский патент российского патентовладельца и участие в двух других в качестве изобретателей российских граждан (БД US PTO).

Отсутствие аналогичной государственной поддержки в отношении УНТ отодвинуло Россию на восьмое место по чис-

лу публикаций; по количеству выданных российских патентов УНТ уступают фуллеренам более чем в три раза; российские специалисты по УНТ не столь частые участники крупных международных конференций, как специалисты в области фуллеренов. Таким образом, и на данном уровне можно проследить связь между целевым государственным финансированием исследований и выходными наукометрическими индикаторами.

Для успешного развития НТ, наряду с созданием нового научного знания, необходимо его превращение в интеллектуальную собственность (ИС). Поиск в патентной базе US PTO показал, что с 1994 по 2007 год Патентным Ведомством США выдано 953 патента на изобретения, связанные с получением и применением нанотрубок (около 11% от общего числа найденных в этой базе нанопатентов), причем это количество ежегодно возрастало. В России с 1999 по 2007 год выдано всего 50 УНТ-патентов, причем в динамике патентования лишь в 2007 году можно наблюдать скачкообразный рост числа патентов.

Благодаря феноменальным свойствам* и их сочетанию, УНТ обладают широчайшим потенциалом применений: сверхпрочные волокна, пряжа, ткань, композиционные материалы, чипы памяти, логические схемы, наносенсоры, полевые эмиттеры, наноэлектромеханические системы (НЭМС), электромагнитные экраны, материалы оптоэлектроники, элементы будущих наномашин, топливные элементы, хранилища для газов, солнечные батареи, ион-литиевые батареи, суперконденсаторы, адсорбенты, биодатчики, средства для внутриклеточной доставки лекарств; материалы для имплантатов и протезов, искусственные мускулы, источники рентгеновского излучения, материалы для катализа. Это далеко не полный перечень возможных применений УНТ. Такая "универсальность" нанотрубок, а также способность "улавливать" важнейшие тенденции в электронике (дальнейшая миниатюризация и мобильность), энергетике (переход к альтернативным источникам энергии), фармацевтике и медицине (новые лекарства и методы лечения) делает их стратегическим материалом для НТ. По этой причине УНТ включены в число приоритетных направлений развития наноиндустрии многими странами, в том числе и Россией [6]. Однако на пути их широкого внедрения существуют серьезные барьеры, главные из которых: высокая стоимость и необходимость перевода великолепного сочетания свойств УНТ в наномасштабе в структурные свойства на макрошкале. Есть и специфические моменты: для электроники необходимы высококачественные чистые и, следовательно, дорогостоящие нанотрубки.

На рынке уже присутствуют продукты, произведенные с использованием УНТ, например, спортивный инвентарь. В конце 2007 года американская компания Nantero планировала вы-

*УНТ в зависимости от геометрических параметров могут иметь металлическую или полупроводниковую проводимость [5]; обладают рекордными механическими характеристиками, уникальными тепло- и электропроводностью, оптическими и магнитными свойствами.

пустить на рынок первую компьютерную память на основе УНТ по сопоставимым с конкурирующими вариантами ценам. Помимо энергонезависимости, высокой скорости чтения/записи, более низкого энергопотребления к достоинствам такой памяти относится возможность массового производства чипов на традиционном оборудовании.

Один из лидеров в производстве и применении УНТ компания Unidym объявила, что в апреле 2008 года состоялся первый полет самолета, в фюзеляже которого использованы УНТ.

О подготовке мирового рынка УНТ и продуктов на их основе свидетельствует ряд признаков: экспоненциальное наращивание суммарных производственных мощностей*, прогноз значительного снижения цен на нанотрубки в ближайшей перспективе и роста объема продаж, тенденция увеличения доли предприятий среди покупателей УНТ, разработка стандартов, попытка консолидации патентного ландшафта. И все же массовая коммерциализация УНТ-продуктов все еще остается проблемой "яйца и курицы".**

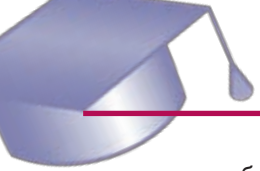
Недостаточное финансирование исследований снизило инновационный потенциал отечественных разработок. В

*В мире свыше ста производителей УНТ. Интегральные мощности по производству многослойных УНТ оцениваются в 300, однослойных УНТ — семь тонн в год.

**Компаниям, способным производить коммерческие продукты, требуется стабильная поставка нанотрубок высокого качества в достаточном объеме, а поставщики, в свою очередь, должны ощущать достаточно емкий рынок, прежде чем инвестировать в оборудование для массового производства УНТ.

России практически нет собственного достаточно объемного производства нанотрубок: делаются попытки наладить производство многослойных УНТ в Тамбове; чистые же однослойные УНТ для наиболее высокотехнологичных приложений получают десятками граммов только в лабораторных условиях. Из-за высокой цены и ограничений на внешние поставки (двойное применение) материал недоступен многим отечественным научным лабораториям, что, очевидно, тормозит исследования. А ведь в НТ именно научные прорывы создают предложения, которые трансформируются затем в благоприятные возможности для экономического развития. В этой связи необходимо, опираясь на собственные силы, наладить массовое производство УНТ и, в первую очередь, обеспечить качественными нанотрубками научно-исследовательский сектор.

В Институте проблем химической физики РАН на основе электродугового процесса создана перспективная технология (лабораторный вариант), которая при масштабировании позволяет производить чистые однослойные УНТ по цене около 60–100 долл. за грамм. Это, по оценке разработчиков, делает экономически рентабельным их применение в электронике, оптике, производстве топливных элементов. Создание отечественной промышленной технологии УНТ представляется целесообразным, поскольку российским рынком инте-



ресуются зарубежные компании. Так, два российских патента на получение нанотрубок выданы двум ведущим мировым производителям УНТ: Hyperion Catalysis International (США) и Rosetter Holdings (Кипр). Среди иностранных патентовладельцев – представители Японии, США, Франции.

Достижения в получении нового научного знания – важнейший фактор производства потенциальных нанотехнологических инноваций. Расширение финансирования исследований увеличивает их продуктивность (число публикаций), что сказывается на количестве патентуемых результатов, приводя к расширению инновационных возможностей. Как показал пример с УНТ, такая логическая цепочка вполне работает.

Барьеры и темпы коммерциализации нанотехнологии. Мировой объем продаж продукции, произведенной с использованием НТ, составил в 2006 году по оценкам Lux Research 50 млрд. долл. [7]; в 2008 году ожидается его увеличение в три раза. Однако, чтобы достичь к 2015 году прогнозируемую величину в 2,6 трлн. долл. в год, необходимо преодолеть еще множество барьеров на пути коммерциализации НТ: недоступность капитала, неготовность рынка, управленческая неопределенность, здоровье и безопасность, неподготовленность рабочей силы, отношение общества, инфраструктура, стандарты, возможности производства и т.д.

Представляется, что при инвестициях в НТ ключевую роль играет учет следующих факторов:

- промежуток времени от исследования до коммерциализации оценивается от 3 до 10 лет, а в ряде случаев и более,
- геометрический рост инвестиций от момента открытия / изобретения до коммерциализации технологии,
- необходимость непрерывных и дополнительных инвестиций из-за трудности заранее определить их точный объем и значительных кумулятивных эффектов,
- необходимость диверсифицировать риски, связанные с резко растущими инвестициями.

Если ближайшие перспективы НТ связаны главным образом с технологиями "сверху вниз" (например, миниатюризацией полупроводников), то в дальнейшем акценты все более будут смещаться к технологиям "снизу вверх" (молекулярные устройства, технология самоорганизации и т.д.). Последние несут ожидания более радикального прогресса, однако обладают значительно большей неопределенностью. Процессы их развития, как правило, нелинейны с взаимными обратными связями между нанонаукой и нанотехнологией. Вследствие сложности таких технологий трудно не только оценить заранее рациональность инвестиции в них, но и измерить ее экономическую эффективность впоследствии. Это предьявляет серьезные вызовы построению инновационных систем для коммерциализации НТ, актуализирует проблему совершенствования методов управления НИР. Пока ни одной стране не удалось найти оптимального ответа на эти вызовы.

Значительная часть коммерциализации НТ будет осуществляться через "стартапы". Для нанотехнологических "стартапов" источниками финансирования могут быть: а) друзья, семья или бизнес-ангелы; б) венчурные капиталисты; в) корпоративные партнеры; д) государство.

За редким исключением источник (а) способен профинансировать лишь подготовку бизнес-плана или приобретение лицензии на ИС.

Классические венчурные фонды – хорошо известная форма финансирования. В США свыше десятка таких фондов ("Draper Fisher Jurvetson", "Harris and Harris" и др.) уже сделали инвестиции в нанотехнологические "стартапы". Однако типичными негативными факторами для венчурных инвестиций являются: высокие капитальные затраты, маленький рынок конечного продукта, слишком большой срок до выхода на прибыль. Традиционным венчурным капиталистам бывает трудно оценить возможности инвестиций с технической точки зрения, а поскольку еще мало успешных моделей, с которыми можно было бы сравнивать, то у них часто отсутствует и достаточное бизнес-понимание. Все это создает серьезные барьеры для получения "стартапами" классических венчурных инвестиций, приводит к сдержанности венчурного капитала в отношении нанотехнологии [8]. Так, только 2% от его мировых объемов были вложены в НТ в 2005 году.

Венчурные инвестиции крупных корпораций могут не быть столь жестко требовательны, как классические, поскольку обычно преследуют стратегические интересы. Например, корпорация Mitsubishi, имея собственные мощности по производству фуллеренов, путем венчурного финансирования молодых компаний, применяющих этот материал, пыталась найти ключевую технологию для последующего ее энергичного продвижения. Часто корпорация заключает со стартапом опционный контракт, получая в обмен на инвестиции в НИР право коммерциализовать разработку в случае успеха. Для "стартапа" такие инвестиции могут иметь дополнительные выгоды за счет предоставления нефинансовых ресурсов (специального оборудования, технической экспертизы), а также привлечения традиционных венчурных капиталистов, которым было бы трудно самим оценить технологию стартапа. Однако могут возникать и некоторые ограничения, например, запрет на сотрудничество с конкурентами корпорации, обязательство продавать только ей будущую продукцию и т.д.

Поскольку НТ двигает наука, государство, инвестируя в исследования, расширяя производство нового знания, способствует в конечном итоге нахождению ключевых технических решений для преодоления основных барьеров коммерциализации. Государство незаменимо в решении крупных инфраструктурных задач, например, обучения и подготовки квалифицированных кадров. Однако опыт пионеров коммерциализации НТ говорит, что и непосредственно в ней роль государства должна быть активной. Даже бизнес-сообщество

США, столкнувшись на рынке с жесткой конкуренцией со стороны азиатских компаний, все настойчивее требует усиления государственно-частного партнерства. Считается, что действующие программы правительства, такие как Программа инновационных исследований малого бизнеса (SBIR), плохо подходят для НТ из-за долгого пути от исследования к производству. Кроме того, SBIR тяготеет к более крупным компаниям. Для исправления ситуации предлагается создавать при участии государства специальные центры содействия коммерциализации НТ.

В Японии практика такова, что нанотехнологические венчурные компании, начиная от исследований и до коммерциализации, в значительной степени полагаются на поддержку государства. Однако некоторым технологиям "снизу вверх" для коммерциализации может потребоваться более 15 лет непрерывного инвестирования, что не по силам только государству. Выход – в привлечении разных источников финансирования по стадиям развития компании (от "стартапа" до поздних стадий), что снижало бы риски каждого отдельного источника.

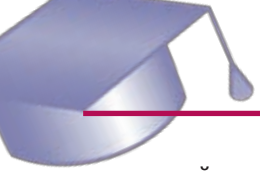
Отечественные стартапы, такие как ЗАО "НТ-МДТ" (нанотехнологическое оборудование), ЗАО "УНИХИМТЕК" (наноматериалы и продукты на их основе), в той или иной мере опирались на государственную поддержку. В настоящее время ГК Роснано ищет приемлемую в российских условиях

формулу государственно-частного партнерства для развития инновационной деятельности в сфере НТ.

В отличие от эпохи Интернета при коммерциализации НТ вопрос интеллектуальной собственности играет важнейшую роль. С ее защитой связан ряд проблем, как общих (вытекающих, например, из платформиобразующего характера НТ), так и специфических для стран, находящихся на разных этапах развития и реализации экономического потенциала НТ.

Огромный коммерческий потенциал УНТ породил стремление американских университетов, правительственных лабораторий, исследовательских подразделений корпораций установить в этой сфере широкую патентную защиту, что привело к быстрому росту количества выданных патентов, часто содержащих пересекающиеся формулы изобретений, ряд из которых блокирующего типа. Сложившаяся ситуация затрудняет навигацию по запутанному патентному ландшафту. Порождаемые ею юридические неопределенности способны сдерживать инвестиции в массовое производство продуктов на основе УНТ либо приводить к значительным юридическим и лицензионным издержкам компаний, стремящихся производить такие продукты.

Для России актуальны пока другие проблемы, в частности: стимулирование изобретательской активности в этой области, изыскание средств на поддержание действия патентов,



противодействие утечке патентоспособных идей. Расчеты показали, что количество американских нанопатентов с участием отечественных изобретателей значительно превосходит количество тех же патентов, выданных российским заявителям. Это, наряду с отъездом ученых за рубеж, приводит к оголению отечественной инновационной системы.

Учитывая важность проблем здоровья и безопасности*, можно предположить, что неотъемлемой частью инновации и процесса проектирования продуктов и материалов, содержащих наночастицы, станут оценка риска утечки таких компонентов на протяжении всего жизненного цикла продукта и доведение этой информации до регулирующих органов.

Говоря о проблемах коммерциализации, не следует забывать, что, прежде чем коммерциализовать, необходимо произвести. США рассматривают создание нанопроизводства** (наряду с водородными технологиями, умным и интегрированным производством) залогом долговременной конкурентоспособности страны. В этой области правительство относит к приоритетам исследования, направленные в том числе на разработку новых процессов и инструментов.

В России, помимо общих, имеется ряд специфических проблем и барьеров коммерциализации НТ. Очевидно, запоздалый старт национальной нанотехнологической программы, несмотря на значительные одномоментно выделенные средства, еще долго будет негативно воздействовать на ситуацию отсутствием аккумулированных инвестиций. Это можно проиллюстрировать следующим сопоставлением. В 2006 году совокупные мировые инвестиции в развитие НТ составили 12,4, а объем продаж продукции, произведенной с ее использованием, – 50 млрд. долл. (примерное соотношение 1:4) [7]. В России, по сообщениям официальных лиц, инвестиции в НТ в 2007 году составили 5 млрд. рубл., а выход – 7–8 млрд. (примерное соотношение 1:1,5). Хотя на развитие НТ выделено сейчас достаточное финансирование, капитал требуется в физической форме. Для производства нового научного знания нужны хорошо оснащенные лаборатории. Но если приборы и оборудование можно достаточно быстро создать или купить за рубежом, то обучение и подготовка квалифицированных кадров исследователей, учитывая предыдущие потери России [3], потребует значительных усилий и длительного времени. То же самое относится к созданию инфраструктуры, ключевыми аспектами которой являются возможность доступа к современному аналитическому инструментарию, метрология, стандартизация и т.д. Вследствие стремительного прогресса технологии, требуемая инфраструктура очень дорога, а оборудование быстро устаревает, поэтому, несмотря

на выделенные правительством значительные ассигнования, для решения инфраструктурных задач была бы целесообразна международная кооперация. Есть и ряд частных барьеров коммерциализации НТ в России. Например, невозможность для малых и средних компаний получить кредит из-за низкой их залоговой стоимости по оценкам банков и высокой стоимости кредитов, требование со стороны крупных компаний о передаче авторами прав на разработку в обмен на прямые инвестиции и др. [10].

В последнее время приставка "нано", подобно зуммеру, звучит на научных конференциях, в массовой прессе, в речах политиков и общественных деятелей, в анализах и прогнозах ведущих фабрик мысли и консалтинговых компаний. Однако постепенно происходит осознание, что процесс коммерциализации НТ и, прежде всего, в ее магистральных направлениях, не будет быстрым. Обращаясь к историческим параллелям, можно отметить: для полной коммерциализации различных продуктов на основе МЭМС потребовалось от 14 до 36 лет [11]. В практике бизнес-консалтинга используют так называемую "кривую ажиотажа" – графическую модель, представляющую развитие и внедрение новых технологий. По оценке компании Gartner, в 2005 году УНТ находились на этой кривой близко к "пику завышенных ожиданий" и до выхода на "плато продуктивности" им оставалось еще более 10 лет [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Росо М.С.** International perspective on government nanotechnology funding in 2005. – Journal of Nanoparticle Research, 2005, v. 7, № 6, p. 707–712.
2. www.luxresearchinc.com/.
3. **Терехов А.И.** Формирование научной базы нанотехнологии: опыт наукометрического анализа с использованием исследовательских проектов. – Российские нанотехнологии, 2007, т.2, № 11–12.
4. **Терехов А.И., Терехов А.А.** Развитие НИР по приоритетному направлению "Индустрия наносистем и материалы": анализ и оценка позиций России в области наноматериалов. – Вестник РФФИ, 2006, № 4.
5. **Харрис П.** Углеродные нанотрубки и родственные структуры. – М.: Техносфера, 2003. – 335 с.
6. Доклад Министра **А.Фурсенко** на заседании Правительства РФ о научном и организационном обеспечении развития nanoиндустрии в Российской Федерации. Москва, 17 января 2008 г. (www.mon.gov.ru/ruk/ministr/dok/4397/).
7. www.luxresearchinc.com/press/2007-lux-research-nanotech-report-5.pdf.
8. **Аверков А.** Коммерциализация нанотехнологий: отношения с инвестором. – Nanoиндустрия, 2008, № 3.
9. The NNI Supplement to the President's FY 2007 Budget (www.nano.gov/NNI_07Budget.pdf).
10. **Алфимов М.В.** Барьеры на пути коммерциализации нанотехнологий. – Российские нанотехнологии, 2008, т.3, № 3–4.
11. **Grace R.H.** The 2006 report card on the barriers to the commercialization of MEMS and nanotechnology (http://rgrace.com/Papers/2006_Report_Card.pdf).
12. Gartner's Hype Cycle Special Report for 2005 (www.gartner.com/DisplayDocument?doc_cd=130115).

*Потенциальным рискам НТ для здоровья и экологии на последнем Всемирном экономическом форуме в Давосе был посвящен специальный доклад.

**Согласно [9] в понятие нанопроизводства включаются все средства, способные воспроизводить трансформировать вещество (из объемной формы или из отдельных атомов, молекул и надмолекулярных структур) в наномасштабные материалы, устройства или системы с желаемыми свойствами и характеристиками, как правило, в больших количествах.