

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ



А. Хульман

Эмпирический анализ нанотехнологий существенно затруднен из-за ограниченности и сложности достоверных и сопоставимых данных. Официальная статистика либо вовсе игнорирует нанотехнологии, либо относит их к различным категориям, где их невозможно корректно выделить, либо опирается на сомнительные определения. Так что весьма похвальна инициатива Европейского патентного ведомства (European Patent Office – ЕРО) по идентификации патентов по нанотехнологиям и присвоению им специального кода. По ряду вопросов, таких как перспективы развития рынка и сведения о компаниях, проводились масштабные обследования, специально посвященные нанотехнологиям. Они дают весьма ценную информацию, но им не хватает сопоставимости с другими источниками. В нашем исследовании была учтена слабость эмпирической базы экономических и научно-технических данных по нанотехнологиям. Это нашло отражение в использовании сведений из различных источников с предварительным отбором их по степени надежности, качеству применяемых методик и согласованности с иными данными. Была предпринята попытка построить с использованием доступной информации наиболее полную картину и сделать выводы на ее основе. Автор не мог и не пытался привносить в настоящий обзор какие-либо собственные данные.

* Различные точки зрения, отраженные в статье, принадлежат самому автору, и никоим образом не отражают официальное мнение Еврокомиссии.

В 1926 г., когда Николай Кондратьев опубликовал свою теорию длинных волн, третья экономическая волна, вызванная подъемом электроэнергетики и химической промышленности, уже находилась на спаде. Спустя 80 лет, в которые уложились две волны (автомобилестроение и электроника, информационные и коммуникационные технологии), весьма вероятным кандидатом на роль инициатора новой, шестой волны Кондратьева стали нанотехнологии, возможно в сочетании с биотехнологией. От нанотехнологий ожидают значительного влияния на мировую экономику, поскольку им найдется применение практически в любой отрасли. Во всем мире ученые, исследователи, менеджеры, инвесторы и лица, ответственные за выработку политики, признают огромный потенциал нанотехнологий и уже развернули «наногонку». Цель нашей статьи – проанализировать современное положение дел в сфере нанотехнологий в экономическом аспекте на основе данных о рынках, финансировании, компаниях, патентах и публикациях. В работе также рассматривается вопрос о том, в какой степени «нанопумиха» опирается на реальные экономические показатели, а в какой отражает лишь благие пожелания. Уделяется внимание сравнению регионов мира, в особенности Европы и Евросоюза, с главными конкурентами – США и Японией – и зарождающимися «нанодержавами» – Китаем, Индией и Россией.

Введение

Нанотехнологии могут применяться всюду: в автомобильных шинах, зубной пасте, солнцезащитном креме, теннисных ракетках и мячах, рубашках и брюках, CD-плеерах и даже в покрытиях раковин, ванн и унитазов. Благодаря им потребительские товары совершенствуются, становясь меньше, легче, быстрее, дешевле, обретая водо- и грязеотталкивающие свойства. Является ли появление таких товаров признаком наступления нанобудущего, которое предсказывают многие эксперты? Не первые ли это шаги на пути к «нанороботам» и «репликаторам», к миру вечной жизни и неиссякаемых ресурсов?

Современные нанотехнологии все еще находятся на границе между научной реальностью и смелыми предвидениями, между первыми достижениями и большими ожиданиями, между постепенными улучшениями и прорывными инновациями. Этот разброс мнений явно или неявно обнаруживается в большинстве экспертных оценок и аналитических обзоров текущего состояния и будущего развития нанотехнологий, принадлежащих в равной мере ученым и журналистам, руководителям ИиР и лицам, ответственным за разработку политики, инвесторам и лоббистам. Во многих тезисах акцентируется то одна, то другая крайность, а ориентиры часто меняются, причем нередко это происходит неосознанно.

Ранее во многих аналитических работах нанотехнологии рассматривались как единое понятие. Сейчас принято считать, что нанотехнологии представляют собой совокупность различных технологий и методов, в основе которых лежит использование физических свойств, проявляющихся в нанометровом масштабе и отличающихся от тех, что наблюдаются у объектов микро- и

макромира. Чтобы дать корректную и ясную картину нанотехнологий и получить адекватную оценку их состояния, потенциальных возможностей и недостатков, необходимо везде, где возможно, рассматривать их отдельные области: наноматериалы и наноэлектронику, нанобиотехнологию и наномедицину, наноинструменты, наноприборы и наноустройства.

Ожидается, что нанотехнологии окажут значительное воздействие практически на все области применения материалов, включая сверхтонкие покрытия и активные поверхности, а также на новое поколение химических технологий. Наноэлектроника существенно повлияет на информационные и коммуникационные технологии, продлевая или даже усиливая (с помощью квантовой электроники) действие закона Мура об удвоении емкости накопителей и производительности микропроцессоров каждые 18 месяцев. Нанобиотехнология принесет изменения в медицину, фармацевтику и диагностику, в многочисленные производственные процессы, сельское хозяйство и пищевую промышленность. Для развития нанотехнологий индустрии необходимы наноинструменты – зондовые микроскопы (сканирующие туннельные микроскопы – СТМ, атомно-силовые микроскопы – АСМ) и сверхточное оборудование.

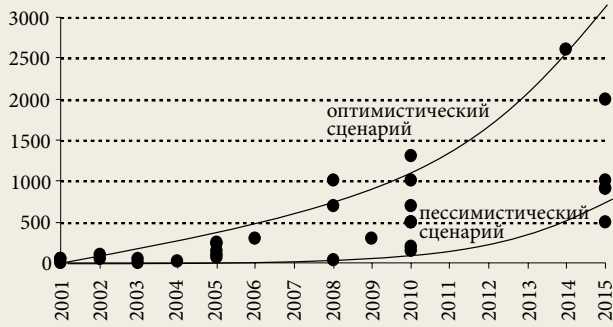
В нашей статье анализируется современное состояние нанотехнологий на основе доступных данных о нанотехнологических рынках и прогнозах их развития; предложениях рабочих мест; компаниях и других организациях, занимающихся нанотехнологиями; государственном и частном финансировании, включая венчурное; патентах и научных публикациях. Все сведения получены из открытых источников, на которые даются ссылки. Автор не несет полной ответственности за их точность и достоверность. В особенности это относится к рыночным показателям, которые могут иметь лишь оценочный характер, так как данные сильно варьируются в зависимости от используемых определений, источников, методологии и целей их получения, способов представления. Автор попытался решить вышеупомянутую проблему, стараясь не полагаться на единственный источник и сравнивая различные источники прежде, чем использовать их для анализа.

Настоящий обзор преследует двоякую цель. С одной стороны, нанотехнологии и их направления анализируются для определения их текущего состояния, выделения наиболее перспективных областей и прогнозирования дальнейшего развития. С другой стороны, анализ прояснит вклад нанотехнологий в достижение таких экономических и социальных целей Европейского Союза, как конкурентоспособность, экономический рост и обеспечение занятости, в том числе путем сравнения Европы с ее мировыми конкурентами – США, Японией и зарождающимися «нанодержавами» – Китаем, Индией и Россией.

Коммерциализация нанотехнологий: прогнозы объемов и долей рынка

Поскольку считается, что нанотехнологии окажут существенное влияние на мировую экономику, объемы

Рис. 1. Прогнозы мирового рынка нанотехнологий (млрд долл.)



Источники: [NSF, 2001; Chilcott et al., 2001; Jankowski, 2001; DG Bank, 2001; Rittner, 2002; Cientifica, 2002; In Realis, 2002; Kamei, 2002; Deutsche Bank, 2003; Ikezawa, 2003; BCC, 2004; McWilliams, 2004; BMBF, 2004; Helmut Kaiser Consultancy, 2004; Lux Research, 2004].

рынков служат адекватным показателем их экономической значимости. Вместе с тем нанотехнологии не корреспондируют со структурой отраслей промышленности, границы которых легко очертить и количественно оценить. В случае успеха нанотехнологии обеспечат значительный, но с трудом поддающийся количественной оценке вклад в усовершенствование многих существующих продуктов и позволят наладить производство совершенно новых.

Большинство прогнозов рынка нанотехнологий было подготовлено в начале 2000-х гг. с временным горизонтом до 2015 г. Наиболее известная цифра по будущему рынку нанотехнологий опубликована в 2001 г. Национальным научным фондом США (National Science Foundation – NSF), который оценил мировой рынок нанотехнологической продукции в 1 трлн долл. к 2015 г. [NSF, 2001]. В зависимости от определения нанотехнологий и их вклада в добавленную стоимость конечного продукта, а также степени оптимизма другие многочисленные прогнозы варьируются от умеренной суммы в 150 млрд долл. к 2010 г. [Kamei, 2002] до 2,6 трлн долл. к 2014 г. [Lux Research, 2004]. Последний, самый оптимистический, сценарий предполагает, что рынок нанотехнологических продуктов будет больше ожидаемого объема рынка информационных и комму-

никационных технологий и десятикратно превзойдет будущий биотехнологический рынок.

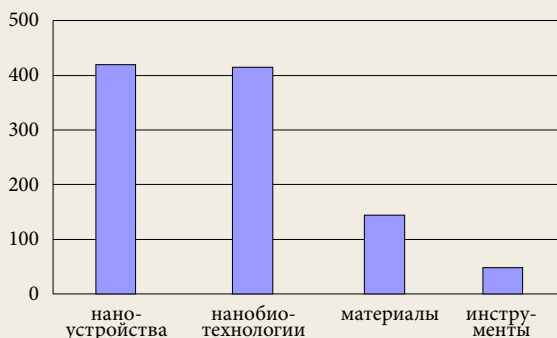
На рис. 1 показаны прогнозы по данным из нескольких источников. Они значительно различаются, но сходятся в том, что стремительный рост рынка нанотехнологической продукции стартует где-то в начале 2010-х гг. Названные выше цифры показывают возможное направление развития рынка нанотехнологий, но недостаточны для его глубокого анализа. Lux Research и NSF постарались разложить показатели по отдельным областям нанотехнологий: компания Lux Research проанализировала пятилетний период прошлого (1999–2003), а NSF назвал ожидаемые в будущем прорывные направления на мировом рынке нанотехнологий общим объемом в 1 трлн долл. к 2015 г. (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что на рынке нанотехнологической продукции на текущий момент наиболее значительны доли наноустройств и нанобиотехнологий – приблизительно 420 и 415 млн долл. Наноматериалам и наноинструментам принадлежат меньшие доли в 145 и 50 млн долл. соответственно. По прогнозам на 2015 г. все эти секторы ожидает значительный рост. Например, рынок наноматериалов увеличится со 145 млн до 340 млрд долл., а доля микроэлектроники составит 300 млрд долл. За ними следуют приложения в фармацевтической, химической и авиакосмической промышленности.

Однако следует с осторожностью сравнивать любые фактические или прогнозируемые показатели из разных источников, использующих различные классификаторы. Прогнозы, представленные в отчете [Fecht et al., 2003], намного надежнее, потому что ориентированы на ближний временной горизонт с 2002 по 2006 г. (рис. 3).

По оценкам, ведущее место на мировом рынке занимают наноинструменты, хотя темпы роста этого сегмента наименьшие. Наноустройства и наноматериалы стартуют с несколько более низкого уровня, однако сектор наноустройств растет значительно быстрее. В противоположность приведенным выше наблюдениям Lux Research, доля нанобиотехнологий оценивается как незначительная, но в рассматриваемый период она быстро растет. В целом прирост за год составляет 15%, что пока нельзя в полной мере назвать прорывом. Рассмотренные данные, очевидно, говорят о том, что нанотехнологии пока еще не достигли той точки, за которой они смогут революционизировать мировую экономику.

Рис. 2. Мировой рынок нанотехнологий за период 1999–2003 гг. и прогноз на 2015 г. (млрд долл.)

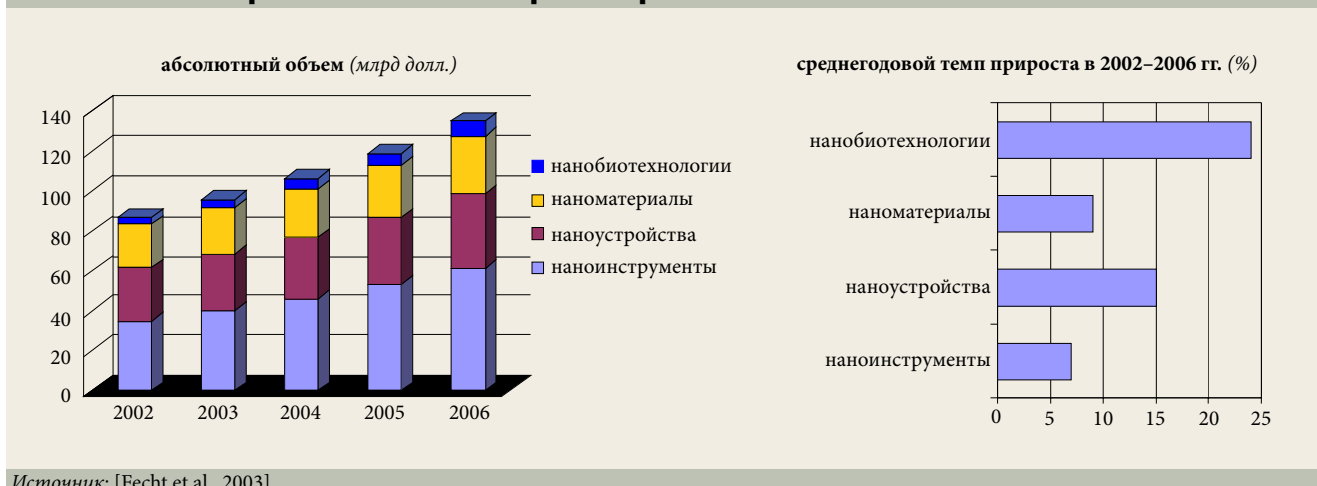


Источник: [Lux Research, 2004].



Источник: [NSF, 2001].

Рис. 3. Прогноз объемов мирового рынка по областям нанотехнологий



Источник: [Fecht et al., 2003].

Так какие же разработки в период с 2006 по 2015 г. приведут к тому, что рынок нанотехнологий вырастет до 1 трлн долл.?

Многие эксперты пытались прогнозировать рынок нанотехнологий. Некоторые из этих прогнозов, включая указанные выше данные NSF, Lux Research и [Fecht et al., 2003], отражены в табл. 1, которая не претендует на исчерпывающий охват или методологическую сопоставимость. Даже для одного и того же года данные могут значительно различаться в зависимости от конкретного исследования и опорных показателей. Тем не менее они дают всестороннюю характеристику рыночных ожиданий и в первом приближении сигнализируют о тех секторах рынка, которые станут играть ведущую роль в будущем.

Согласно обзору различных нанотехнологических направлений, приложений и рынков, наиболее крупная рыночная доля будет приходиться на продукты, порожденные нанотехнологиями. Сектор наноэлектроники к 2015 г. оценивается примерно в 300 млрд долл. и включает полупроводники, сверхъемкие конденсаторы, нанотехнологические накопители информации и наносенсоры. Прогнозы по рынку наноматериалов можно разбить на несколько более или менее значительных сегментов, в числе которых наночастицы, нанопленки и объемные наноструктуры. К 2010 г. совокупный объем рынка наноматериалов превысит 300 млрд евро, что очень близко к оценке NSF (340 млрд долл. к 2015 г.). Эти данные, несмотря на свою фрагментарность и частичную несопоставимость, свидетельствуют о том, что наноматериалы привнесут значительный вклад в будущий рынок нанотехнологий и их приложений. При сравнении с данными, представленными на рис. 3, можно сделать вывод, что умеренный рост до 2006 г. сменится ускоренной динамикой в период с 2006 по 2010 г.

Трехэтапная модель, предложенная Lux Research в 2004 г., является пока еще самым глубоким и детальным прогнозом развития рынка нанотехнологий. Согласно этой модели, на первом этапе, до 2004 г., лишь некоторые нанотехнологии находили применение в высокотехнологичных продуктах. Следующий этап, который характеризуется прорывом в области нанотехнологических инноваций, продлится до 2009 г. Доминировать на рынке будет наноэлектроника. На третьем этапе, на-

чиная с 2010 г., нанотехнологии будут широко применяться в медицинских и биотехнологических товарах и станут проникать на рынки фармацевтики и медицинского оборудования. Нанобиотехнологии обеспечат существенный вклад в развитие фармацевтической промышленности. К этому времени роль первичных наноматериалов значительно снизится. Lux Research [2004] оценивает долю нанобиотехнологической продукции в 4% от общего объема рынка продукции обрабатывающих производств в 2014 г., причем нанотехнологии будут применяться в 100% персональных компьютеров, в 85% бытовой электроники, в 23% фармацевтических продуктов и в 21% автомобильной продукции. Все это обеспечит нанотехнологиям долю в 15% от мирового объема продукции обрабатывающих производств в 2014 г.

Представленные выше прогнозы подтверждаются анализом рынка средств целевой доставки лекарственных препаратов и оценкой доли на нем нанотехнологической продукции (рис. 4).

Ожидаемый среднегодовой прирост рынка нанотехнологических средств целевой доставки лекарственных препаратов составляет 50% в период с 2005 по 2012 г. Аналогичным образом увеличивается и рыночная доля, хотя темп ее роста несколько ниже. В 2012 г. доходы от нанотехнологий на рынке целевой доставки лекарственных средств достигнут 4.8 млрд долл., что соответствует 5.2% всего объема продаж. При сохранении подобного тренда эта доля вырастет до 7% к 2015 г. и до 10% к 2020 г.

Ни один из вышеприведенных прогнозов не рассматривает в своих сценариях развития проблему одобрения обществом нанотехнологий, хотя следовало бы извлечь урок из истории ранее возникавших революционных технологий, таких как ядерная энергетика и генетически модифицированные организмы. Опыт показывает, что необходимо учитывать ожидания и опасения граждан, а также восприятия рисков и выгод, так как они в значительной степени влияют на отношение рынка к новым технологиям и могут предопределять их экономический успех или провал. Продолжающиеся обсуждения проблем нанотехнологий свидетельствуют о существовании ряда спорных моментов, которые могут поставить под вопрос ры-

Рис. 4. Объем и доля нанотехнологий на мировом рынке средств целевой доставки лекарственных препаратов



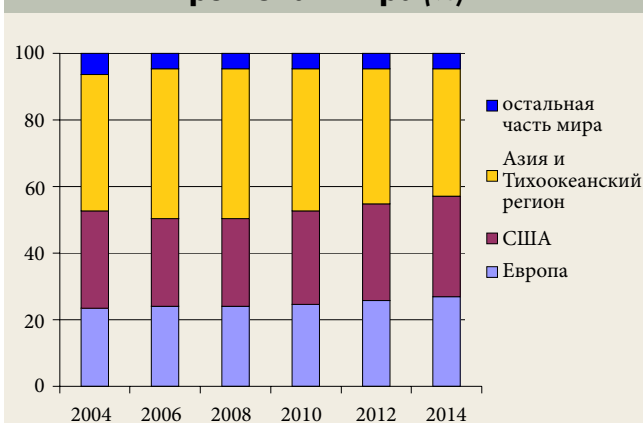
Источник: [Moradi, 2005].

ночный успех в случае, если общество почувствует, что подобные аспекты не были надлежащим образом рассмотрены, и займет критическую позицию по отношению к нанотехнологиям, например из-за опасений возможного вреда от наночастиц для здоровья человека и окружающей среды или из-за этических соображений, касающихся тайны частной жизни. При обсуждении экономического потенциала нанотехнологий такие вопросы следует обязательно учитывать и относиться к ним крайне серьезно¹.

Указанный фактор может оказать заметное влияние на международное распределение продаж и доходов от нанотехнологической продукции. В то время как одни страны более склонны принимать на себя риски, связанные с нанотехнологиями, даже если они не до конца изучены и количественно оценены, другие относятся к ним более критически и предпочитают от них воздерживаться. Подобные различия хорошо иллюстрируются восприятием генетически модифицированных культур со стороны европейских и американских потребителей. В регионах с более критическим отношением может действовать более строгое регулирование, а продвижение наносодержащих продуктов на рынке может быть более сдержанным. Не касаясь данного фактора, Lux Research в 2004 г. предложила свой прогноз (2.6 млрд долл. в 2014 г.) в разрезе по регионам (рис. 5).

Интересно, что ведущими по объему продаж нанотехнологической продукции являются Азия и Тихоокеанский регион (АТР), за которыми на близких позициях следуют США и Европа. В то время как для Европы предсказывается небольшой, но постоянный рост доли рынка, удельный вес США сокращается до 2008 г., после чего начинает расти, а для АТР характерна обратная тенденция. Обоснование такого прогноза Lux Research связано с трехэтапной моделью развития нанотехнологического рынка: в ближайшем будущем на мировом рынке будет доминировать продукция крупных азиатских компаний (компьютеры, мобильные устройства, автомобили). После 2008 г. наберет силу фармацевти-

Рис. 5. Объемы продаж продукции, использующей нанотехнологии, по регионам мира (%)



ческая продукция, производимая в основном американскими компаниями.

Глобальная «наногонка»: государственное и частное финансирование

Национальная нанотехнологическая инициатива США (National Nanotechnology Initiative – NNI), принятая благодаря бывшему президенту Клинтону и вступившая в силу в 2001 г., ознаменовала старт глобальной гонки ведущих мировых экономик в сфере нанотехнологических исследовательских программ. Однако финансирование нанонауки уже осуществлялось во многих регионах мира. Так, в Европе еще с середины 1980-х гг. велись серьезные исследования наноматериалов. К настоящему времени страны Европейского Союза и ряд других государств направили значительные суммы на исследования и разработки в области нанотехнологий. В табл. 2 представлены данные о государственном финансировании в 2005 г.

Европейская Комиссия – крупнейший спонсор нанотехнологических исследований в Европе, а как организация – даже и в мировом масштабе. В Шестой Рамочной программе ЕС по научным исследованиям и технологическому развитию (6РП) нанотехнологии совместно с материалами и производственными технологиями (НМП) были определены в качестве приоритетного направления европейских научных исследований. Объем средств, целевым образом выделенных на нанотехнологические проекты в период с 2004 по 2006 г., оценивается в 1.3 млрд евро (в 2004 г. – 370 млн евро; в 2005 г. – 470; в 2006 г. – 500 млн евро), и это не считая финансирования в рамках других направлений – технологий информационного общества, развития инфраструктур, исследовательской и образовательной деятельности. Еще в 4-й и 5-й рамочных программах (1994–2002) финансирование проектов, связанных с нанотехнологиями, составило в целом до

¹ В докладах Европейской Комиссии [European Commission, 2004; 2005a,b] указывается на необходимость комплексного и ответственного подхода к нанотехнологиям, при котором учитываются не только научные, технологические и экономические условия, существенные для дальнейшего развития нанотехнологий, но и социальные аспекты, оценка рисков и международный диалог. См. <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/actionplan.htm>.

Табл. 2. **Оценка государственного финансирования ИиР в области нанотехнологий в 2004 г. в мире и отдельных странах (млн евро)**

США (федеральное)	910.0	Австралия	62.0	Финляндия	14.5	Индия	3.8
Япония	750.0	Бельгия*	60.0	Австрия	13.1	Малайзия	3.8
Еврокомиссия	370.0	Италия*	60.0	Испания	12.5	Румыния	3.1
США (штаты)	333.0	Израиль	46.0	Мексика	10.0	ЮАР	1.9
Германия	293.1	Нидерланды	42.3	Новая Зеландия	9.2	Греция*	1.2
Франция	223.9	Канада	37.9	Дания	8.6	Польша*	1.0
Корея	173.3	Ирландия	33.0	Сингапур	8.4	Литва	1.0
Великобритания	133.0	Швейцария	18.5	Норвегия	7.0		
Китай	83.0	Индонезия	16.7	Бразилия	5.8	Другие страны	2.8
Тайвань	75.9	Швеция	15.0	Таиланд	4.2	Всего	3 850.0

* Данные за 2003 г.

Источник: [European Commission, 2005a].

300 млн евро. В Седьмой Рамочной программе (7РП) (2007–2013)² за нанотехнологиями сохраняется приоритет в рамках направления НМП и ожидается по крайней мере двукратное увеличение бюджета за счет финансирования смежных областей по другим направлениям 7РП (здравоохранение, продукты питания, информационные и коммуникационные технологии, энергетика, социально-экономические исследования, безопасность) и программам (инфраструктура, развитие малого и среднего бизнеса, подготовка кадров, наука и общество). Особое внимание уделяется наноэлектронике и наномедицине в рамках Европейских технологических платформ.

Среди государств - членов Европейского Союза, которые в совокупности расходуют на нанотехнологии гораздо больше средств, чем Еврокомиссия, лидирует Германия, за ней следуют Франция и Великобритания. На сопоставимом уровне находятся Япония и Корея. Поскольку эти данные не отражают паритет покупательной способности валют, то нельзя не отметить вклад Китая, более чем значительный в мировом масштабе. Опережают всех США, где федеральные агентства и правительства штатов потратили в 2004 г. более 1.2 млрд евро, а в 2005 г. – 1.7 млрд евро, что делает страну мировым лидером по объему государственного

финансирования нанотехнологий. Но если рассматривать Европу в целом, то объем ее государственных затрат на нанотехнологии окажется на близком к США уровне (рис. 6).

С учетом частного финансирования общая картина выглядит иначе. В Европе только треть всех средств поступает от бизнеса. В США частные вложения покрывают 54% затрат, а в Японии – две трети. В остальных, прежде всего в азиатских развивающихся, странах бизнес финансирует около 36% затрат. В абсолютных цифрах расходы США на исследования в области нанотехнологий составляют более 3.5 млрд евро, Японии – 2.7, а Европы – менее 2.5 млрд евро. Это отражает разницу между Европой и ее конкурентами по нанотехнологическим исследованиям: уровень государственного финансирования сопоставим, но европейская промышленность отстает от других участников гонки.

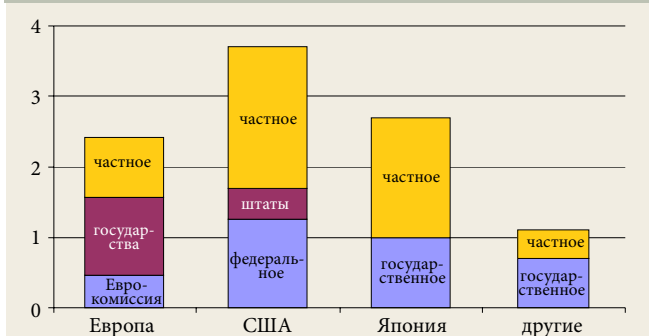
Венчурные инвестиции в нанотехнологии

Какие технологические области уже сейчас особенно динамично развиваются и потому привлекательны для инвесторов? Выявить их позволяет внимательный анализ рынка рискованного капитала в период до 2002 г.

Как видно из рис. 7, нанобиотехнологии – наиболее привлекательный рынок для венчурных инвестиций, далее следуют наноустройства, тогда как наноматериалы и наноинструменты занимают незначительное место. Однако пропорции заметно меняются; нанобиотехнологии сохраняют лидирующую позицию, но их роль сокращается. Общий объем венчурного капитала вырос с 63 млн долл. в 1999 г. до свыше 400 млн долл. в 2002 г., то есть более чем на 500% за три года. В то же время некоторый спад в 2000–2002 гг., в частности в области нанобиотехнологий, свидетельствует о том, что рынок венчурного инвестирования может все еще занимать выжидательную позицию.

Дальнейшее развитие рынка венчурного инвестирования в сфере нанотехнологий представлено на рис. 8. Графики отражают стагнацию роста объема венчурных инвестиций в 2002 г. и умеренный, но стабильный подъем в дальнейшем. Аналогично менялась и доля нанотехнологий в мировом объеме венчурного

Рис. 6. **Объемы государственного и частного финансирования ИиР в области нанотехнологий в 2005 г. по регионам мира (млн евро)***

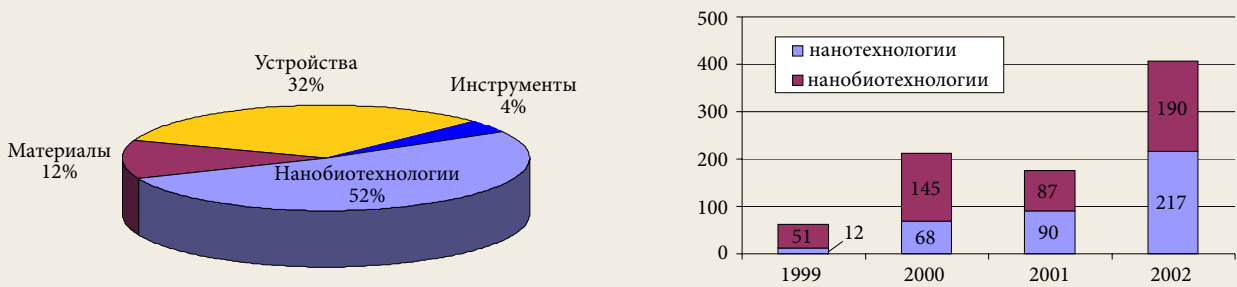


* 1 евро = 1 долл.

Источник: [European Commission, 2005a].

² Подробнее см.: <http://cordis.europa.eu/fp7>.

Рис. 7. **Мировой объем венчурного финансирования нанотехнологий (слева – по областям применения, % ; справа – по годам, млн долл.)**



Источник: [Paul et al., 2003].

инвестирования. Спад можно объяснить тем, что венчурные инвесторы вырабатывали консолидированную позицию в отношении нанотехнологий, в особенности по вопросу рисков, связанных с их возможной опасностью. Дискуссии стали весьма бурными в начале 2000-х гг., когда публикация первых результатов исследований наночастиц на токсичность продемонстрировала связанные с ними потенциальные угрозы. Полемика еще продолжается, и некоторые инвесторы могут выжидать, чем она закончится.

С другой стороны, отдельные эксперты полагают, что активное инвестирование в нанотехнологии приведет к появлению продуктов, не востребованных обществом [Nanologue, 2005]. Колоссальные инвестиции, сопровождаемые «нанOSHумихой», могут, притом что общество отдалено от принятия решений, привести к надуванию огромного «пузыря», который в конце концов лопнет. Кроме того, стагнация 2002 г. и незначительный дальнейший рост могут отражать уже начавшееся насыщение рынка. Дело в том, что спрос на венчурное финансирование очень сильно зависит от количества стартовых компаний. Имеется ли в сфере нанотехнологий достаточное число предпринимателей, чтобы осваивать ежегодно более 500 млн долл., или 2.2% мирового венчурного капитала?

Анализ экономического эффекта: рынок труда и компании сектора нанотехнологий

Создание компаний является важным индикатором развития и экономической значимости новой технологии. Новые компании, как правило, представляют собой стартапы, располагающие одним главным активом – патентом на новую технологию, которую они могут применять сами или продать лицензию другим компаниям, обладающим большими возможностями производства или распространения продукции. В этом секторе экономики, связанном с высокими технологиями, а значит и с высокими рисками, венчурный капитал является основным источником финансирования.

Что касается создания новых рабочих мест, то небольшой вклад дают стартапы, а также предприятия малого и среднего бизнеса. По оценке NSF, к 2015 г. в секторе нанотехнологий по всему миру потребуются около 2 млн работников. Их распределение по мировым регионам будет следующим: США – 0.8–0.9 млн, Япония – 0.5–0.6, Европа – 0.3–0.4, АТР (исключая Японию) – 0.2, другие регионы – 0.1 млн. Дополнительно будет создано 5 млн вспомогательных рабочих мест,

Рис. 8. **Динамика мирового объема венчурного финансирования нанотехнологий**



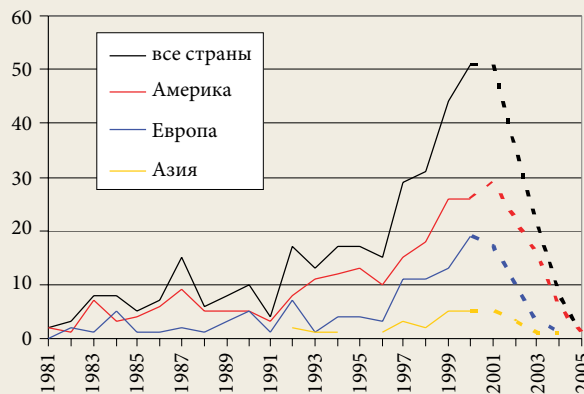
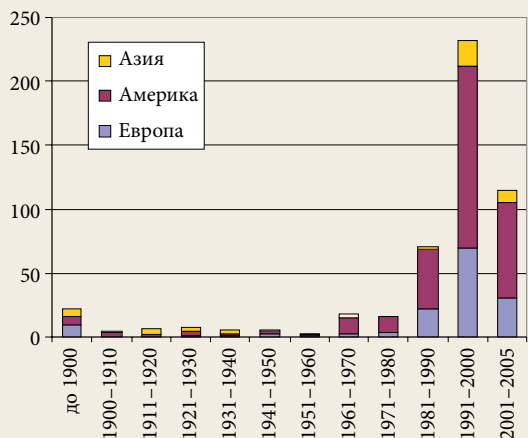
Источники: 1999–2003: [Anquetil, 2005]; 2004–2005: [Lux Research, 2006; PriceWaterhouseCoopers, 2006].

Рис. 9. **Число рабочих мест в сфере нанотехнологий (в млн) и их доля в общем числе рабочих мест в обрабатывающих производствах (%)**



Источник: [Lux Research, 2004].

Рис. 10. Число нанотехнологических компаний в мире по годам основания*



* Недавно созданные компании (после 2001 г.) представлены не полностью.

Источник: база данных NanoInvestorNews по состоянию на 8 мая 2005 г. См.: www.nanoinvestornews.com.

или в среднем 2.5 рабочих места на одного работника сферы нанотехнологий [Roco, 2003]. Еще оптимистичнее прогноз Lux Research, согласно которому к 2014 г. ожидается создание 10 млн рабочих мест в сфере производства, связанного с нанотехнологиями. На рис. 9 показан рост числа рабочих мест в секторе нанотехнологий и их доли от всех рабочих мест в обрабатывающих производствах.

Многие из этих рабочих мест будут созданы малым и средним бизнесом, но все же не только им. За последние несколько лет многие ведущие компании для повышения конкурентоспособности включили нанотехнологии в свой технологический портфель. Это объясняет, почему в число нанотехнологически ориентированных вошли компании, существующие уже сто и более лет. Характерными примерами служат крупные производители химической и фармацевтической продукции, оптики и электроники (Bayer, BASF, Carl Zeiss, Agfa-Gevaert, General Electric, Philips, все основанные до 1900 г.). Впрочем, подобные крупные фирмы составляют меньшинство в общем списке нанотехнологических компаний.

Сведения о числе нанотехнологических компаний в разрезе по годам их основания и регионам мира (рис. 10) получены из открытой базы данных нанотехнологических компаний, предоставленной NanoInvestorNews. Из 1000 компаний для 522 указан год основания. Европа представлена в основном Германией, Швейцарией и Великобританией, Америка – США и Канадой, Азия – Японией, Кореей и Китаем.

Лишь немногие из активных нанотехнологических компаний были созданы в первые восемь десятилетий XX в., в среднем по десять компаний за десятилетие. В 1980-х гг. их число значительно возрастает, но настоящий взлет начинается лишь в 1996 г., когда было основано около 30 нанотехнологических компаний, а в 2000 г. – более 50. Этот ускоренный рост продолжается, но из-за неполноты базы данных за последние несколько лет не находит отражения на графике. Следует отметить, что все включенные в статистический обзор компании продолжали свою деятельность на момент сбора информации (май 2005 г.), а обанкротившиеся,

приобретенные и реорганизованные путем слияния фирмы в расчет не принимались.

Существует ли различие между регионами мира по количеству нанотехнологических компаний и срокам их создания? Значимость данных до 1990-х гг. не следует переоценивать из-за статистических искажений вследствие малых чисел, но они отражают сложившуюся пропорцию между мировыми регионами: лидер – Америка, затем – Европа и Азия. В конце 1990-х гг. Европа сократила отрыв от Америки с половины до двух третей. Моментом взлета, как для Америки, так и для Европы, явился 1996 год, а пик достигается (по данным обзора) в 2000 г. для Европы и в 2001 г. для Америки. Заметим, что эти цифры не отражают степень состоятельности рассматриваемых компаний. Анализ различий в практике основания фирм свидетельствует о том, что американские компании зачастую менее жизнестойкие по сравнению с европейскими и чаще подвергаются банкротству, но в обзоре компаний, действующих на рынке нанотехнологий, такая особенность не рассматривалась.

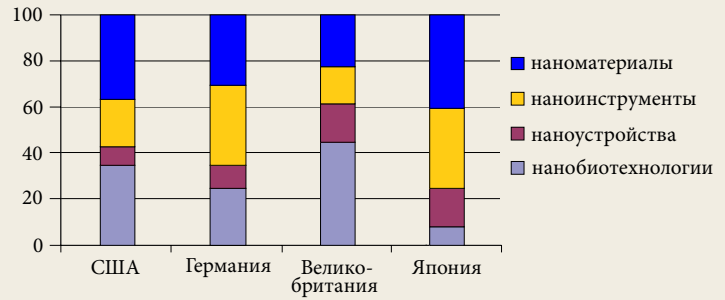
В каких сегментах рынка нанотехнологий компании проявляют активность? На рис. 11 продемонстрированы результаты обзора [Fecht et al., 2003], который охватывает 357 компаний по всему миру.

Треть всех рассмотренных компаний занимается наноматериалами, другая треть – нанобиотехнологиями. Наноинструменты и наноустройства играют меньшую роль. Но между четырьмя наиболее активными странами имеются существенные различия: в США равномерно развиты разные направления, в Германии показатели выше для наноинструментов, в Великобритании – для нанобиотехнологий, а в Японии одинаково высокие показатели в сегментах наноматериалов и наноинструментов, но слабые – в нанобиотехнологиях.

На рис. 12 отражена структура компаний по величине в наиболее активных в сфере нанотехнологий странах.

Обследованные компании расположены преимущественно в США и Германии, в меньшей степени – в Великобритании, Японии, Израиле, Швейцарии, Канаде и Швеции. Аналогичное распределение наблюдается

Рис. 11. **Распределение компаний по сегментам рынка нанотехнологий (слева) и наиболее активным на рынке странам (справа)***



* Суммарный объем выборки – 357 компаний.

Источник: [Fecht et al., 2003].

в базе данных NanoInvestorNews (см. рис. 10, данные по нему здесь не приводятся). Большинство американских компаний, по которым имеются сведения, среднего размера, то есть их оборот составляет 10–500 млн долл. В Германии и Великобритании основная часть компаний значительно меньше – с оборотом ниже 10 млн долл., а в Японии – 500 млн долл. и выше.

Частные компании – не единственный тип организаций, занимающихся нанотехнологиями. Данные о числе организаций, осуществляющих ИиР либо производственную деятельность в области нанотехнологий, помогают идентифицировать структуру научного потенциала. На рис. 13 представлен состав организаций, занимающихся нанотехнологиями, по типам, странам и регионам мира.

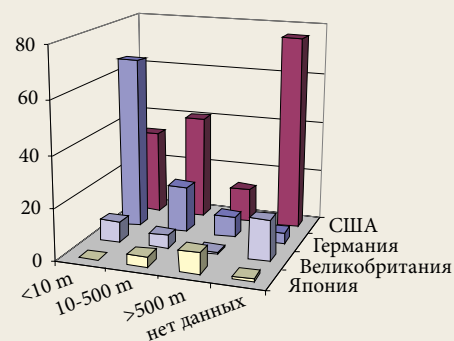
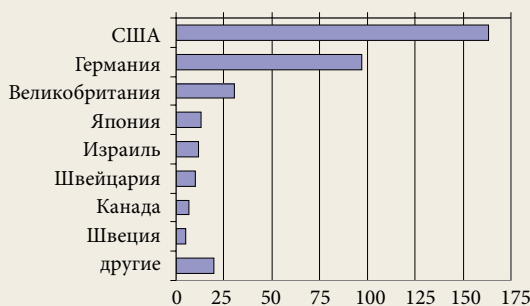
Использованная при этом база данных охватывает 1100 организаций, в числе которых 460 малых и средних фирм либо стартапов, 390 исследовательских институтов, 120 крупных компаний и 80 дочерних компаний или совместных предприятий. Между мировыми регионами существует некоторая дифференциация: если в США львиная доля приходится на малые и средние фирмы, а также стартапы, то университеты и исследовательские центры играют гораздо более значимую роль в Европе и Азии. Если сгруппировать все организации в две категории: компании (включая малые, средние, крупные и дочерние) и исследовательские

организации (университеты и исследовательские центры), то между странами обнаруживаются интересные различия. Доля исследовательских организаций очень высока в Японии, Великобритании, Китае, Франции, Австралии и Швеции. В Австрии, Испании, Италии и Польше их число даже превышает количество компаний. Обратное соотношение характерно для США, Германии, Швейцарии, Израиля и Тайваня, а также для Кореи и Финляндии, где количество компаний вдвое и даже более превосходит число исследовательских организаций.

Другая база данных по нанотехнологиям сфокусирована на европейских странах и размещается на финансируемом Европейской Комиссией европейском портале нанотехнологий (www.nanoforum.org). В августе 2005 г. база данных NanoForum содержала сведения о 1538 организациях из 33 европейских стран. И хотя половина всех записей относится к германским организациям, база данных отражает и деятельность в других странах – не столь крупных и менее активных в сфере нанотехнологий (рис. 14).

Франция и Великобритания, которым вместе взятым соответствует 250 единиц в базе данных, находятся на одном уровне, затем со значительным отрывом следуют Нидерланды, Австрия, Швейцария и Бельгия. Италия возглавляет среднюю группу, в которую входят Чехия, Дания, Польша, Венгрия, Швеция, Исландия

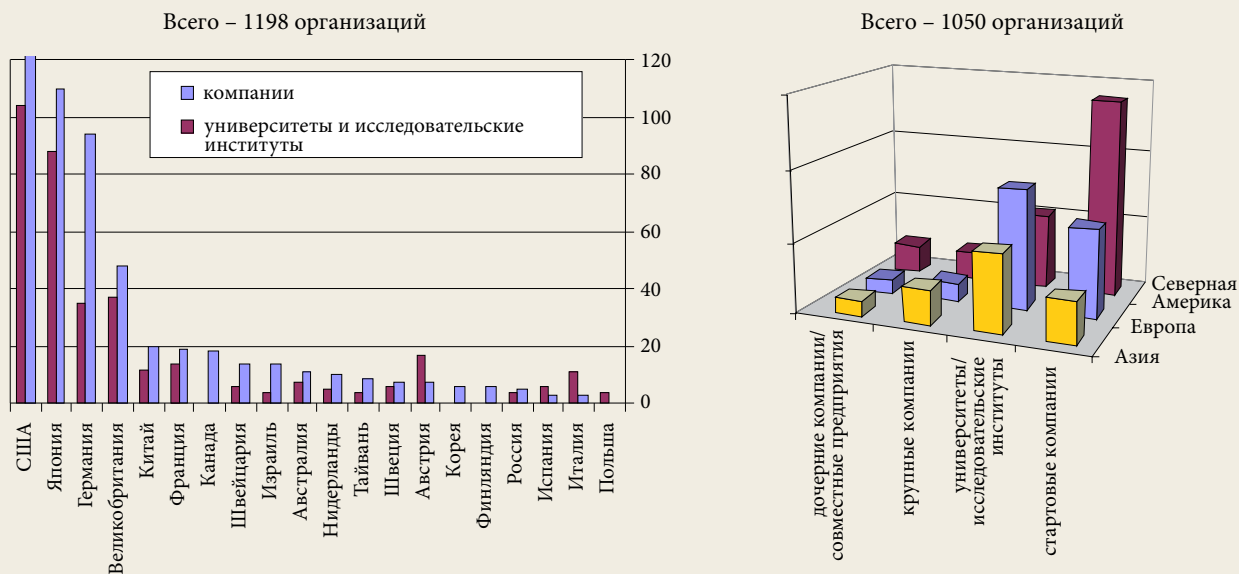
Рис. 12. **Число нанотехнологических компаний по странам (слева) и размеру (млн долл. оборота) (справа)**



* Суммарный объем выборки – 357 компаний.

Источник: [Fecht et al., 2003].

Рис. 13. Нанотехнологические организации по странам (слева) и типам (справа)



Источник: [Cientifica, 2003].

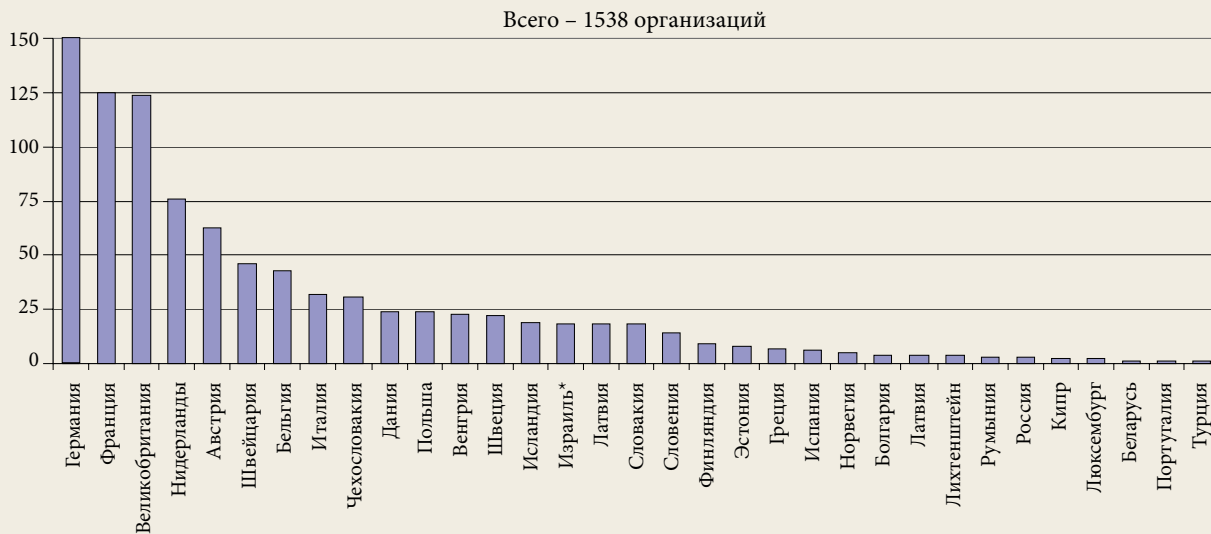
дия, Израиль, Литва, Словакия и Словения. Если учитывать размеры стран, то 19 записей по Исландии не менее значимы, чем невысокая по масштабам Италии цифра 32. Финляндия, Испания и Норвегия входят в группу стран, которые имеют менее 10 единиц, что явно не соответствует ожиданиям.

Приведенные сведения позволяют сделать вывод, что максимальный прогресс в создании и деятельности нанотехнологических компаний и развитии связанной с ними занятости наблюдается в США. В Европе наиболее значительную роль играет Германия, но на гораздо более скромном уровне, чем США. Главным соперником США выступает Япония. Что касается конкуренто-

способности и создания новых рабочих мест, то здесь растет роль компаний, основанных на нанотехнологических изобретениях или внедряющих нанотехнологии в свой технологический портфель.

Выходящие на рынок нанотехнологий Китай, Индия и Россия готовы к началу активных действий и сближению с Европой. Хотя ни одна из этих стран не была существенным образом отражена в статистике компаний, можно предположить, что динамика их развития в следующие десятилетия будет существенной и они смогут стать серьезными конкурентами на мировом рынке и за нанопродукцию, и за размещение исследовательской базы и производств. Первые свидетель-

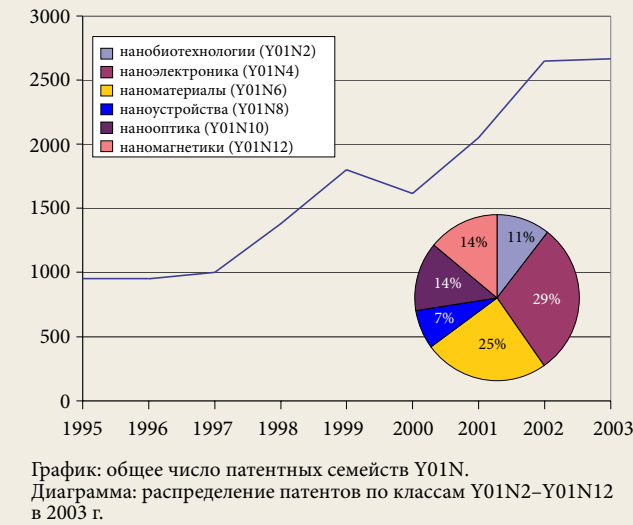
Рис. 14. Европейские организации (университеты и другие исследовательские институты, компании), занимающиеся нанотехнологиями



* Израиль является ассоциированным участником Шестой Рамочной программы ЕС по научным исследованиям и технологическим разработкам (2002–2006) и поэтому включен в статистику.

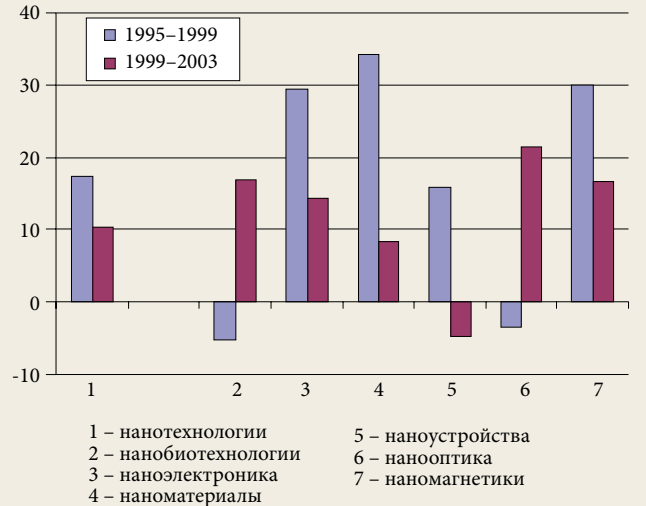
Источник: база данных NanoForum по состоянию на 11 августа 2005 г. См.: www.nanoforum.org.

Рис. 15. Нанотехнологические патенты в мире согласно коду Y01N (EPO)



Источник: [Scheu et al., 2006], расчеты автора.

Рис. 16. Среднегодовой темп прироста числа патентов по областям нанотехнологий (%)



Источник: [Scheu et al., 2006], расчеты автора.

ства тому дают индикаторы научно-технологического развития, представленные в следующих разделах.

Технологическое развитие: патентные заявки на нанотехнологии

Долгосрочный экономический успех невозможен без сильной научно-технологической базы. С другой стороны, научно-технологическое превосходство не обязательно автоматически приближает экономический успех и прорыв, что иллюстрирует так называемый «европейский парадокс»: Европа сильна в науке, но ее слабым местом являются технологические приложения и, соответственно, экономические успехи. Проявляется ли «европейский парадокс» также и в нанотехнологиях? Для ответа следует внимательно изучить два основных индикатора научно-технологического превосходства: патенты и публикации.

Патенты отражают способность преобразования научных результатов в технологические приложения. Они также являются необходимым условием экономической эксплуатации результатов исследований и потому играют центральную роль в любом анализе экономического потенциала технологий и при определении наиболее перспективных секторов и участников деятельности, будь то персоналии, организации или страны. Европейское патентное ведомство (EPO) разработало методику идентификации и классификации нанотехнологических патентов и патентных семейств по материалам ведущих патентных служб мира³. Первоначальной целью было совершенствование работы патентных экспертов и выявление разработок в быстро развивающейся сфере нанотехнологий, чтобы упре-

дить рост потребности в новых патентных экспертах и междисциплинарной кооперации. Внедренный метод присвоения кодов помогает и исследователям, которым требуется патентный анализ в области нанотехнологий. Очевидным преимуществом этой системы является то, что выделение нанотехнологических патентов приобретает большую адекватность, а международные сопоставления становятся более надежными, так как ни одному региону не отдается предпочтения⁴. На рис. 15 представлены эволюция числа патентных семейств за период 1995–2003 гг. и их распределение по различным областям нанотехнологий.

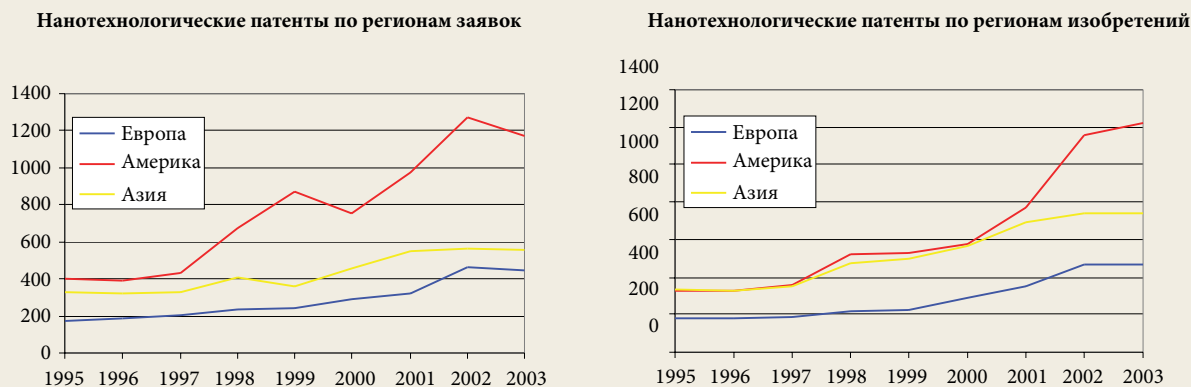
Количество патентных семейств постоянно возрастает, но действительно резкого рывка не наблюдается. Два незначительных пика на графике в 1999 и 2002 гг. указывали на возможность экспоненциального роста, но в каждом случае на следующий год происходил спад, который понижал общий темп роста за рассматриваемый период. В 2003 г. наибольшее число нанотехнологических патентов было связано с наноэлектроникой. Наноматериалы оказались на втором месте, следующие позиции с отрывом занимали наномагнетики и нанооптика. Динамика по направлениям отражена на рис. 16.

Общий темп прироста числа нанотехнологических патентов за 1995–2003 гг. составил 14% в год, причем во второй половине этого периода он был ниже. Однако по отдельным областям наблюдались очень сильные различия. Наноэлектроника, наноматериалы, наноустройства и наномагнетики имели самые высокие показатели роста в 1990-е гг., а самые низкие (вплоть до отрицательного, как в случае с наноустройствами) – между 1999 и 2003 гг. Вместе с тем нанобиотехнологии и нанооптика имели отрицательные показатели в кон-

³ Подробнее об основных принципах и методике добавления нанокодов Y01N см. [Scheu et al., 2006]. Коды означают следующее: Y01N = нанотехнологии, Y01N2 = нанобиотехнологии, Y01N4 = нанотехнологии для обработки, передачи и хранения информации (кратко: наноэлектроника), Y01N6 = нанотехнологии для исследований вещества и поверхности (кратко: наноматериалы), Y01N8 = нанотехнологии для осуществления взаимодействия, измерений и воздействий (кратко: наноустройства), Y01N10 = нанооптика, Y01N12 = наномагнетики.

⁴ Методики и результаты патентного анализа, выполненного разными экспертами, их преимущества и недостатки сравниваются в работе [Hullmann, Meyer, 2003].

Рис. 17. Число патентов в мире по регионам заявок (слева) и регионам изобретений (справа)



Источник: [Scheu et al., 2006], расчеты автора.

це 1990-х г., а затем выросли до 20% к 2000 г. Правда, по абсолютным цифрам оба эти направления значительно уступают нанoeлектронике и наноматериалам. Поэтому указанное повышение нельзя рассматривать как показатель растущей значимости нанобиотехнологий на рынке нанотехнологической продукции.

В каких регионах мира генерируются нанотехнологические патенты? На рис. 17 приведено число нанотехнологических патентов, выданных в мире, в разрезе по регионам, где подана заявка и где находится изобретатель, а именно: Америка (в основном США и Канада), Азия (прежде всего Япония и Корея) и Европа (преимущественно Германия, Великобритания, Франция и Нидерланды).

Очевидно, что по регистрации патентов в сфере нанотехнологий Америка намного опережает другие регионы мира. Здесь ежегодно регистрируется половина от общего числа патентов, для которых можно определить страну подателя заявки. Интересно, что позиции Америки как страны авторства изобретений выглядят немного слабее на фоне некоторого усиления потенциала Азии. Различия между регионами заявок и изобретений связаны в общем случае с несовпадением местонахождения компании и места проживания изобретателя. Подобная ситуация возникает в частности в приграничных регионах и в случае исследовательских визитов. В сфере нанотехнологий общеизвестно, причем далее это не анализируется, что значительное число изобретателей, указавших адрес проживания в Азии, работали на американские компании, подававшие патентные заявки. Но огромное количество подобных несоответствий не может быть объяснено одной только мобильностью ученых. Следует также признать, что научно-исследовательские центры в Азии, принадлежащие американским компаниям, не подают заявки самостоятельно, а предоставляют это американским штаб-квартирам. Заметим, что разница сократилась в 2002 и 2003 гг., что говорит либо об изменении практики подачи заявок на патенты, либо о растущей активности азиатских компаний в подаче заявок. Наклон графика, соответствующего данным по Америке, показывает, что пиковые показатели числа патентов по нанотехнологиям в мире (рис. 15) были обусловлены необычно большим числом американских заявок в

1999 и 2002 гг. В табл. 3 по каждой из областей нанотехнологий указаны десять стран, лидировавших в 2003 г. по числу патентов.

Табл. 3 свидетельствует, что во всех областях нанотехнологий наиболее активной страной по числу патентов (как по заявителям, так и по изобретателям) являются США. Остальные государства меняют свое положение в рейтинге в зависимости от области нанотехнологий. Германия, Франция и Канада занимают высокую позицию в секторе нанобиотехнологий, Нидерланды и Швеция заметны в нанoeлектронике, а Бельгия и Тайвань – в наноматериалах. Швейцария особенно сильна в секторе наноустройств, а Великобритания – в наноптике. На рис. 18 для восьми стран, лидировавших в рейтинге по числу заявок в 2003 г., приведено соотношение числа патентов по разным областям нанотехнологий за два периода.

При сравнении показателей по направлениям нанотехнологий заметно смещение акцентов. В то время как в США пропорция между ними сохранилась, в Японии, Германии, Франции, Корее и Канаде произошел сдвиг в сторону наноматериалов. В Германии, Корее и особенно в Нидерландах вырос сектор нанoeлектроники, Великобритания усилила позиции в области наноптики, то же можно сказать о наноустройствах в Канаде и наноматериалах в Корее. Интересно, что доля патентов по нанобиотехнологиям во всех рассматриваемых странах не меняется или даже сокращается.

Рассмотрим среднегодовой прирост числа регистрируемых патентов по нанотехнологиям в каждой из восьми стран-лидеров рейтинга 2003 г. (рис. 19).

Рост потока американских патентов по нанотехнологиям практически повторяет динамику общего числа всех нанотехнологических патентов, которая характеризуется заметным ускорением в конце 1990-х гг. и менее значительным – в начале 2000-х гг. Вполне естественно, что, обладая половиной всех патентов, США определяют развитие нанотехнологий в мире. Во всех остальных странах наблюдается противоположная картина: незначительное увеличение или даже спад (Франция, Нидерланды) в 1990-х гг. и резкий рост в 2000-е гг., когда наиболее динамичное развитие продемонстрировали Германия, Канада, Великобритания и в особенности Нидерланды и Корея.

Табл. 3. Ранжирование ведущих стран по числу патентов в различных областях нанотехнологий: 2003*

Нанотехнологии (Y01N) – всего			
Страна заявки	Число	Страна изобретения	Число
США	1136	США	1177
Япония	461	Япония	600
Германия	199	Германия	200
Великобритания	59	Южная Корея	73
Франция	52	Великобритания	68
Корея	48	Канада	38
Нидерланды	37	Франция	37
Канада	32	Тайвань	29
Италия	16	Нидерланды	29
Тайвань	15	Швейцария	21
Сингапур	13	Израиль	19
Бельгия	13	Швеция	19
Швейцария	13	Италия	19
Китай	13	Сингапур	17
Швеция	12	Бельгия	16
Израиль	12	Дания	14
Дания	10	Китай	14
Австралия	7	Австралия	10
Африка**	7	Африка**	7
Индия	6	Финляндия	7
Финляндия	5	Индия	6
Испания	3	Россия	5
Бразилия	3	Испания	4
Австрия	3	Кипр	3
Россия	3	Бразилия	3
Кипр	2	Австрия	3

Наноустройства (Y01N8)			
Страна заявки	Число	Страна изобретения	Число
США	103	США	106
Япония	30	Япония	35
Германия	21	Германия	19
Швейцария	8	Швейцария	9
Корея	7	Корея	8
Сингапур	4	Сингапур	4
Швеция	4	Швеция	4
Израиль	3	Израиль	4
Франция	3	Великобритания	3
Нидерланды	2	Франция	3
Испания	2	Нидерланды	3
Китай	2		

Нанооптика (Y01N10)			
Страна заявки	Число	Страна изобретения	Число
США	171	США	162
Япония	102	Япония	120
Великобритания	26	Великобритания	25
Германия	16	Германия	18
Франция	10	Корея	9
Корея	6	Канада	8
Канада	6	Дания	7
Израиль	5	Италия	6
Сингапур	5	Сингапур	6
Дания	5	Израиль	5

Наноэлектроника (Y01N4)			
Страна заявки	Число	Страна изобретения	Число
США	422	США	413
Япония	192	Япония	258
Германия	55	Германия	60
Нидерланды	28	Корея	40
Корея	24	Нидерланды	19
Канада	11	Швейцария	12
Франция	10	Великобритания	11
Великобритания	8	Швеция	10
Швеция	6	Тайвань	10
Тайвань	5	Канада	10

Наноматериалы (Y01N6)			
Страна заявки	Число	Страна изобретения	Число
США	303	США	345
Япония	114	Япония	146
Германия	65	Германия	61
Великобритания	21	Великобритания	21
Франция	17	Корея	21
Корея	15	Тайвань	15
Бельгия	8	Франция	14
Тайвань	8	Канада	9
Канада	6	Бельгия	7
Китай	5	Сингапур	7

Наномагнетики (Y01N12)			
Страна заявки	Число	Страна изобретения	Число
США	214	США	191
Япония	112	Япония	166
Германия	29	Германия	27
Нидерланды	10	Корея	7
Франция	6	Нидерланды	5
Корея	5	Франция	3
Китай	2	Китай	2
Индия	2	Финляндия	2
Израиль	1	Израиль	2
Бразилия	1	Индия	1
Сингапур	1	Бразилия	1
		Сингапур	1
		Бельгия	1
		Тайвань	1

* Число патентов приблизительное, ранжирование отражает неполные данные.

** Африканская организация интеллектуальной собственности (African Intellectual Property Organisation).

Источник: [Scheu et al., 2006].

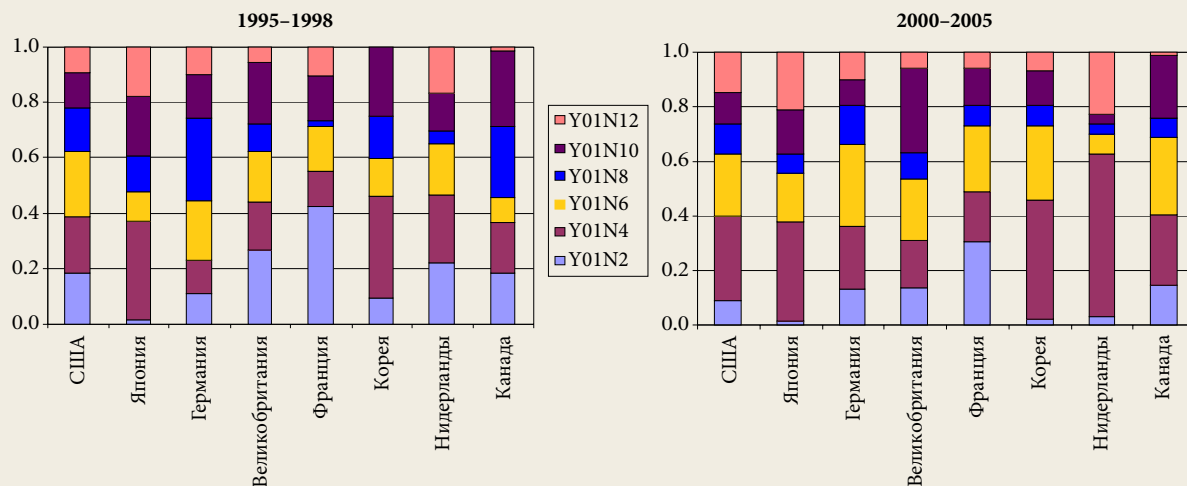
Научные публикации по нанотехнологиям и их цитирование

Число научных публикаций является наиболее значимым индикатором научного превосходства. Однако простой подсчет может дезориентировать. Другие индикаторы, например цитирование, отражают качество

научной статьи и ее влияние на научное сообщество. Сопоставление регионов мира по числу научных публикаций по нанотехнологиям (рис. 20) свидетельствует о том, что лидерство принадлежит Европе.

В 1990-е гг. доля Европы незначительно возросла, для «других стран Азии», то есть Китая, она повысилась существенно, а удельные веса США и Канады уменьшились. В итоге можно констатировать: Европа

Рис. 18. Соотношения между областями нанотехнологий (коды Y01N2–Y01N12) по числу патентов в восьми лидирующих по рейтингу странах



Источник: [Scheu et al., 2006].

обладает огромным научным потенциалом в области нанотехнологий, сравнимым с потенциалом главных конкурентов. «Остальная часть Азии» – наиболее интенсивно развивающийся регион. Более детальный анализ позволяет выявить те страны, которые выступают основными «поставщиками» научных публикаций по нанотехнологиям (рис. 21).

Как и следовало ожидать, самой активной в этом плане страной (более чем 18 тыс. публикаций по нанонауке за период 1999–2004 гг.) являются США. За ними следуют Япония и Китай, но с серьезным отставанием. Наиболее крупные европейские страны занимают места с 4-го по 7-е. Корея, Канада и Испания завершают первую десятку. Картина несколько меняется, если рассматривать по отдельности три области: химический

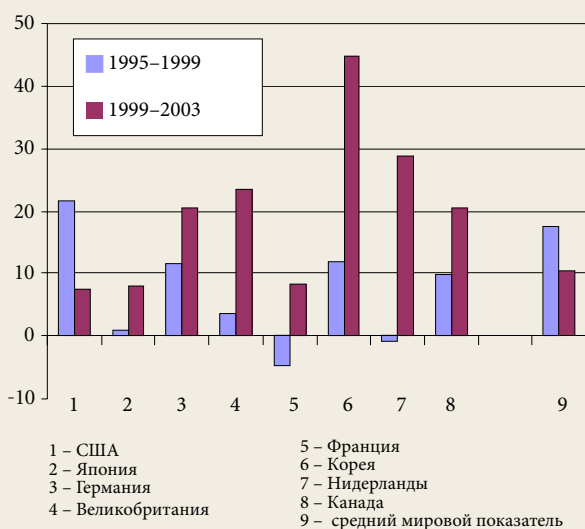
синтез, сверхпроводимость с квантовыми компьютерами и наноматериалы. В первых двух из них Германия демонстрирует более сильную позицию, чем Китай, находясь на одной отметке с Японией, а Великобритания и Франция сравнимы по уровню с Китаем. Китай очень активен в наноматериалах, где, обгоняя Японию, занимает вторую позицию после США.

Не все научные статьи одинаково качественны, а высокая частота публикаций необязательно имеет эффект. Адекватным индикатором качества работы, а значит, ее актуальности и оказываемого на аудиторию влияния служит количество цитирований⁵. В табл. 4 приводятся показатели публикационной активности по 25 наиболее цитируемым странам в 1990-е гг.

С позиций импакт-фактора в лидеры выходят две небольшие страны: Швейцария и Нидерланды. Тройку лидеров замыкают США. Среди других стран наиболее активны в этом отношении Великобритания (представленная Англией и Шотландией), Франция, Япония и Германия, но они имеют средний уровень цитирования и уступают Канаде, Бельгии, Ирландии и Дании. Три самых динамично развивающихся страны – Россия, Китай и Корея – дополняют картину. Помимо прочего перечень наиболее цитируемых стран отражает следующее явление: если страна является англоговорящей, или на ее языке говорит небольшое число людей, либо она многоязычна, то авторы из данной страны более склонны публиковаться в «мировых» журналах, издаваемых на английском языке и обладающих большим импакт-фактором по сравнению с журналами на национальном языке, аудитория которых не столь велика, что и снижает их влияние.

Самыми цитируемыми журналами, печатающими научные статьи по нанотехнологиям, являются Nature в Европе и Science в США (см. базу данных Thomson ISI, 2001, <http://www.esi-topics.com/nano/nations/d1a.html>). Оба журнала мультидисциплинарны, что характерно для работ по нанотехнологиям. Подавляющее большинство научных журналов по нанотехнологи-

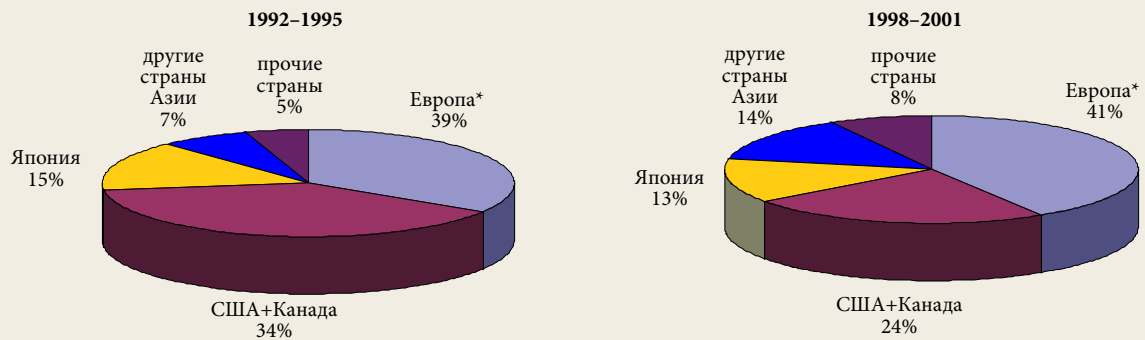
Рис. 19. Среднегодовые темпы прироста числа патентов по нанотехнологиям (с кодом ЕРО Y01N) в восьми странах-лидерах: 2003



Источник: [Scheu et al., 2006], расчеты автора.

⁵ При более тщательном анализе число цитирований статьи соотносят со средним показателем по конкретной дисциплине или журналу, но подобного сложного исследования нами не проводилось.

Рис. 20. **Научные публикации по нанотехнологиям по регионам мира согласно базе данных SCI**



* «Европа» включает страны ЕС и ассоциированные государства.

Источник: [Glanzel et al., 2003; http://www.steunpuntoos.be/nanotech_domain_study.pdf].

ям с высоким импакт-фактором относятся к химии и физике, некоторые – к материаловедению. Не вошел в список лидеров только журнал *Nanostructured Materials*, полностью посвященный нанонауке, но имеющий относительно низкий импакт-фактор, несмотря на то что занимает второе место по числу научных публикаций по нанотехнологиям.

Подобные наблюдения подтверждают междисциплинарный характер нанонауки: статья по нанотехнологиям может иметь отношение к различным дисциплинам и поэтому оказывает наибольшее влияние, когда обращена к широкому сообществу, как в случае с журналами *Nature*, *Science* и другими многопрофильными изданиями по химии и физике. Другой причиной более общего свойства является то, что подобные журналы принимают к публикации только статьи высокого профессионального уровня, что, в свою очередь, ведет к увеличению числа цитирований. Следует также отметить некоторую неоднозначность научных результатов по нанотехнологиям в европейских странах: они либо отличаются большим количеством публикаций, либо имеют высокий уровень цитирований, тогда как США достигают и того и другого.

Сравнивая данные по публикациям и патентам, можно сделать два наиболее важных вывода. Во-

первых, по обоим показателям Европа однородна. Нет никаких признаков «европейского парадокса», кроме факта рассредоточенности знаний по многочисленным научным и технологическим центрам в Европе. Во-вторых, США служат эталоном научного и технологического превосходства в секторе нанотехнологий. Такой вывод не нов, но теперь он получил дополнительное подтверждение.

Заключение

Эмпирический анализ экономического развития нанотехнологий, безусловно, начинается с исследования перспектив рынка. В случае нанотехнологий в целом эти перспективы сильно варьируются и зависят от конкретных целей. Здесь следует иметь в виду, что реальное положение дел нелегко оценить и практически невозможно заранее спрогнозировать. Однако представленные в статье сведения вполне надежны в силу своей полноты и позволяют предвосхищать очередные шаги в различных областях нанотехнологий и странах. Все говорит о том, что нас действительно ждет многообещающее нанотехнологическое будущее. Благодаря междисциплинарному характеру и особой значимости для фармацевтики и электроники нанотехнологии мо-

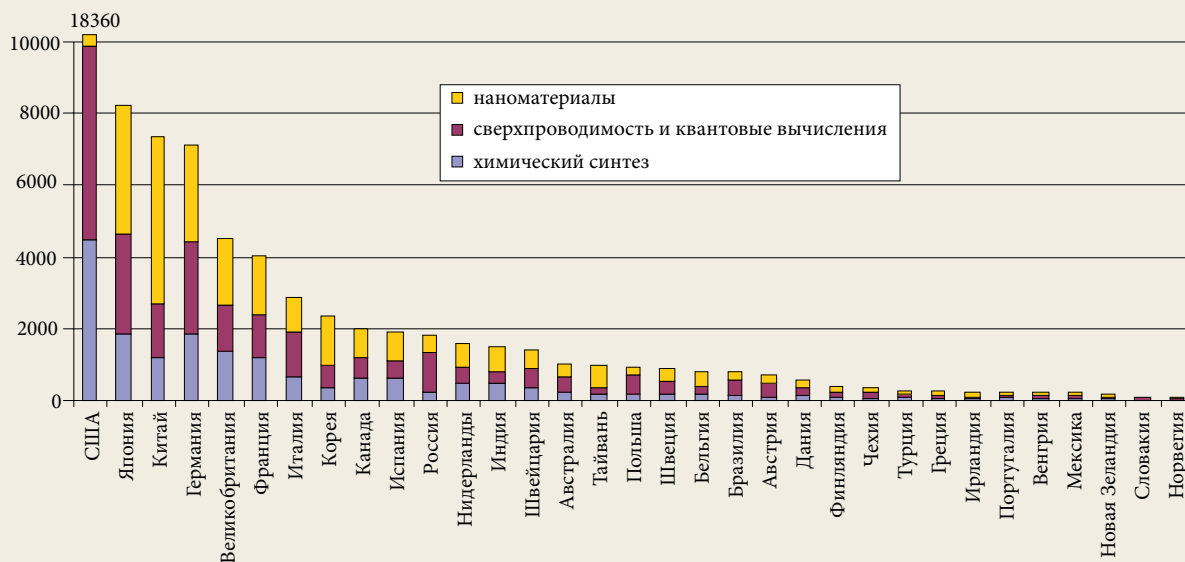
Табл. 4. **Число нанотехнологических публикаций и цитирований по 25 странам, лидирующим в рейтинге цитирования: 1991–2000**

Страна	Число статей	Всего цитирований	Число цитирований в расчете на одну статью (импакт-фактор)	Страна	Число статей	Всего цитирований	Число цитирований в расчете на одну статью (импакт-фактор)
Швейцария	792	8233	10.40	Испания	874	5131	5.87
Нидерланды	514	4767	9.27	Израиль	371	2063	5.56
США	9993	92108	9.22	Бразилия	245	1253	5.11
Канада	754	5707	7.57	Австрия	220	1103	5.01
Бельгия	382	2873	7.52	Италия	958	4585	4.79
Ирландия	131	926	7.07	Швеция	381	1729	4.54
Англия+Шотландия	1545	10325	6.68	Австралия	349	1508	4.32
ЕС-25*	22069	145681	6.60	Индия	636	2005	3.15
Дания	217	1401	6.46	Польша	387	969	2.50
Франция	2673	17168	6.42	Россия	1708	4240	2.48
Япония	4251	26267	6.18	Китай	3168	7653	2.42
Германия	3634	22373	6.16	Корея	579	1243	2.15

* В составе стран ЕС-25 учтены только страны, фигурирующие в настоящей таблице.

Источник: база данных Thomson ISI, 2001. См.: <http://www.esi-topics.com/nano/nations/d1a.html>

Рис. 21. Научные публикации по нанотехнологиям по странам и дисциплинам: 1999–2004



Источник: [Igami, 2006; Science Citation Index 1999–2004; NISTER, 2006].

гут легко опередить традиционные биотехнологии и даже достичь того уровня развития, который характерен сегодня для информационных и коммуникационных технологий.

Развитие нанотехнологий повлияет на увеличение числа рабочих мест в обрабатывающих производствах. Нанотехнологические компании уже создавались в прошлом, и ожидается появление еще большего их количества в дальнейшем. В отличие от биотехнологических, многие нанотехнологические фирмы будут работать в секторах, где их размер не столь важен для ИиР, производства и маркетинга. После достижения технологического успеха они совсем не обязательно будут обречены на неизбежное поглощение более крупными компаниями. Вероятно, здесь не будет столь выражена стратегия экстернализации высоких рисков научно-исследовательской деятельности, обнаружившаяся в биотехнологических ИиР крупных фармацевтических компаний в 1990-е гг. Крупные и многонациональные компании уже привержены нанотехнологиям и инвестируют значительные средства в связанные с ними исследования. Кроме того, для нанотехнологических стартапов вполне доступен рискованный капитал. Хотя венчурные инвесторы настроены сейчас не столь оптимистично, как до взрыва «мыльного пузыря», связанного с Интернетом, они уже осознали прорывной потенциал нанотехнологий и внимательно следят за их развитием.

В отношении финансирования нанотехнологических исследований выявились некоторые особенности в регионах мира. В Европе частные инвесторы отстают от государственных источников финансирования. Если в США и Японии государственное и частное финансирование носит более сбалансированный характер, то в Европе нанотехнологические исследования испытывают недостаток частных инвестиций. С другой стороны, весьма позитивен тот факт, что государственное финансирование нанотехнологий в Европе вполне конкурентоспособно на мировом уровне и демонстрирует своевременную реакцию европейской научной политики на те возможности, которые открывают на-

нотехнологии и участие в «наногонке». Недостаточная же готовность европейского бизнеса к инвестированию не является специфическим для нанотехнологий явлением – подобная проблема касается всех расходов на ИиР, а следовательно, причины имеют более общий характер для европейской научно-промышленной системы. Эта ситуация хорошо известна и подпадает под «Барселонскую цель» – обеспечить финансирование ИиР в объеме 3% ВВП, причем на 2/3 за счет бизнеса [European Council, 2002].

Высокий уровень государственного финансирования нанотехнологических исследований окажет позитивное воздействие на достижение нанотехнологического превосходства Европы. Знания и интеллектуальная собственность создаются в исследовательских проектах, которые в значительной степени финансируются государством. Однако успешное внедрение технологий и создание на их основе коммерчески успешных продуктов зависит от интеграции подобных проектов с производством; она уже идет, но должна еще значительно углубиться. В связи с этим следует считать преимуществом то, что Европа концентрируется на гражданских приложениях нанотехнологий, в отличие от, например, США, которые тратят значительную долю государственного финансирования на исследования нанотехнологий для оборонного сектора. Другой положительный аспект значительного (гражданского) государственного финансирования в Европе имеет социальный характер: воздействие нанотехнологий на экономическое развитие позитивно лишь в том случае, если они способствуют решению существующих проблем и не создают новых. Только тогда общество в лице потребителей, влиятельных групп и органов государственного регулирования воспримет нанотехнологическую продукцию. Нынешние дискуссии о потенциальном вреде от наночастиц получают отражение в поддержке проводимых в этой области исследований. Может потребоваться принятие политических решений, если риски для общества окажутся неприемлемо высокими. Неоспоримым преимуществом

государственного финансирования является возможность политического воздействия на характер исследований, то есть определения приоритетных направлений, включая исследования в области безопасности нанотехнологий, решения экологических проблем или создания медицинского оборудования. Воздействуя на направления нанотехнологических исследований, можно привести их в соответствие с ожиданиями общества и в результате получить положительный экономический эффект.

Политические выводы, полученные из данных настоящего обзора, не новы: позиции Европы сильны, но ей необходимо сократить отставание от США и Япо-

нии во многих областях и по многим показателям. К тому же Европе следует внимательно следить за новыми игроками, осваивающими рынок нанотехнологий: Китаем, Индией и Россией. Многое будет зависеть от научно-технологического превосходства Европы, необходимого для укрепления нанотехнологической базы знаний в исследовательской и производственной деятельности. Одновременно нельзя упускать из виду потребность в высококвалифицированных производственных и исследовательских кадрах для сектора нанотехнологий и необходимость создания всемирной конкурентоспособной инфраструктуры производства знаний.



- AllianzGroup. Small sizes that matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies. Report in co-operation with the OECD International Futures Programme, 2005.
- Anquetil P. The impact of nanotechnology / Susquehanna Financial Group, June 2005.
- Aspen Systems takes a giant step toward commercialization of Aerogels. Aspen Systems press release. 2001.
- BCC. Global Nanotechnology Market to Reach \$29 Billion by 2008. Business Communication Company Press Release, February 2004.
- BCC. Opportunities in nanostructured materials: Biomedical, pharmaceutical & cosmetic. Norwalk, USA: Business Communication Company, 2001.
- BMBF. Nanotechnology conquers markets for nanotechnology. Report 2004 / Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2004.
- Braun A.E. Nanotechnology: genesis of semiconductors future // Semiconductor International. November 2004.
- Chilcott J., Jones A., Mitchell M. Nanotechnology: Commercial Opportunity. London: Evolution Capital Ltd., 2001.
- Cientifica. Nanotechnologies for the Textiles Market, April 2006.
- Cientifica. The Nanotechnology Opportunity Report, ed. 2002.
- Cientifica. The Nanotechnology Opportunity Report, ed. 2003
- Compañó R., Hullmann A. Forecasting the development of nanotechnology with the help of science and technology indicators // Nanotechnology. 2002. Vol. 13. № 3. P. 243-247.
- Data Mine. Nanotechnology Grows Up: Data Mine Technology Review. June 2005.
- Degussa investigations into alleged price-fixing in the carbon black industry. Reuters press release. 2002.
- Deutsche Bank. Nanotechnology Market and Company Report 2003 / Deutsche Bank AG, 2003.
- DG Bank. Im Fokus. Nanotechnologie in der Chemie. Frankfurt a. M.: DG/WZ Bank, 2001.
- Diestler D. Nanoteilchen in Megatonnen: Vielfältige Anwendungen für Polymerdispersionen / BASF press release. Mannheim, 2002.
- European Commission. Nanosciences and Nanotechnologies: An action plan for Europe for 2005 to 2009. European Commission Communication, 2005b.
- European Commission. Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond / European Commission, Research DG, December 2005a.
- European Commission. Towards a European Strategy for Nanotechnology. European Commission Communication, 2004.
- European Council. Presidency Conclusions / Barcelona European Council, 15-16 March 2002.
- Fecht H.-J., Ilgner J., Köhler T., Mietke S., Werner M. Nanotechnology Market and Company Report – Finding Hidden Pearls / WMtech Center of Excellence Micro and Nanomaterials. Ulm, 2003.
- Freedonia. Nanotech Tools to 2008: Nanotech Tool Technologies – Microscopy. URL: http://freedonia.ecnext.com/coms2/summary_0285-21108_ITM (retrieved August 2004).
- FTM consulting. Nanotechnology: Worldwide IC Market. November 2004.
- Glänzel W., Meyer M., du Plessis M., Thijs B., Magerman, B., Schlemmer B., Debackere K, Veugelaers R. Nanotechnology: Analysis of an Emerging Domain of Scientific and Technological Endeavour. Report of Steunpunt O&O Statistiek, K.U. Leuven, 2003.
- Helmut Kaiser. Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide. Helmut Kaiser Consultancy Study № 2003-2006-2010-2015. 2004.
- Hullmann A., Meyer M. Publications and Patents in Nanotechnology: An overview of previous studies and the state of the art // Scientometrics. 2003. Vol. 58. № 3. P. 507-527.
- Igami M. Bibliometric Indicators of Nanoscience Research. OECD working paper. 2006.
- Ikezawa N. Competitiveness in High-Tech Fields and Nanotechnology. Nomura Research Institute, 2003.
- In Realis. A critical investor's guide to nanotechnology. February 2002.
- Jankowski P. Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie – Schlüsseltechnologien für Deutschland. Köln, 2001.
- Kamei S. Promoting Japanese style Nanotechnology Enterprises. Mitsubishi Research Institute, 2002.
- Lux Research. Rush to market in nanosensors, but most aren't "nano". May 2005.
- Lux Research. Sizing Nanotechnology's Value Chain. October 2006.
- Lux Research. The Nanotech Report 2004.
- McWilliams A. Nanotechnology: A Realistic Market Evaluation. BCC Research Report. March 2004.
- Moradi M. Global Developments in Nano-Enabled Drug Delivery Markets // Nanotechnology Law and Business. 2005. Vol. 2. №2. P. 139-148.
- NanoForum database 2005. URL: www.nanoforum.org.
- NanoInvestorNews database 2005. URL: www.nanoinvestornews.com.
- Nanologue. Engaging with researchers and civil society. Nanologue project report, December 2005. URL: www.nanologue.net.
- NanoMarkets LC, Venture Development Associates, 2005.
- NanoMarkets. Nanomemory: Commercial Opportunities for Nano-based Memory and Storage Technologies. August 2004.
- NISTEP. Development of New Bibliometric Indicators Assessing Scientific Activities (study in preparation. National Institute of Science and Technology Tokyo, 2006.
- NSF. Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology. National Science Foundation Report, March 2001. Kluwer Academic Publishing, 2001.
- Paull R., Wolfe J., Hébert P., Sinkula M. Investing in nanotechnology // Nature Biotechnology. 2003. Vol. 21. № 10. P. 1145.
- PriceWaterhouseCoopers. Venture Capital data. 2005.
- Rittner M. Market Analysis of Nanostructured Materials // American Ceramic Society Bulletin. 2002. Vol. 81, № 3.
- Roco M.C. Converging science and technology at the nanoscale: opportunities for education and training // Nature Biotechnology. 2003. Vol. 21. P. 1247-1249.
- Scheu M., Veeffkind V., Verbandt Y., Molina Galan E., Absalom R., Förster W. Mapping nanotechnology patents: The EPO approach // World Patent Information. 2006. Vol. 28. P. 204-211.
- Science Citation Index 1999-2004.
- Small Times. Veeco came, saw, acquired majority of the AFM Market. 2002. URL: www.smalltimes.com.
- SRI. Nanoscale chemicals and materials: An overview on technology, products and applications / SRI-International Report. Speciality Chemicals: Nanotechnology. 2002.
- Stevenson R. OLEDs set to glow // E-zine chemSoc, 2003.
- Thomson ISI database, 2001. URL: <http://www.esi-topics.com/nano>.
- VDI-TZ. Innovationsschub aus dem Nanokosmos. Verein der Ingenieure – Technologiezentrum, 1998.
- VDI-TZ. Nanotechnology als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. Company Survey. Verein der Ingenieure – Technologiezentrum, 2004.