

В.А. Маркусова

**ИНДУСТРИАЛЬНО РАЗВИТЫЕ СТРАНЫ И КИТАЙ
В БОРЬБЕ ЗА ЛИДЕРСТВО В РАЗВИТИИ
НАНОТЕХНОЛОГИИ: ОБЗОР НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ПО БИБЛИОМЕТРИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ПУБЛИКАЦИЙ
В СЕТИ WEB OF SCIENCE И SCOPUS, 1993–2007 гг.**

Обеспечение развития науки и техники как основы процветания страны – это девиз правительств крупнейших западных держав. По данным Отчета Национального научного фонда (ННФ) США «Science & engineering indicators – 2008», правительства практически всех стран увеличивают ассигнования на науку и технику с целью поддержки промышленности, основанной на высоких технологиях. При этом темпы инвестирования частных компаний в науку значительно опережают темпы увеличения правительственных расходов. Известно, что, придя к власти, администрация Дж. Буша предполагала произвести дальнейшее сокращение федеральных расходов на науку. Однако трагические события 11 сентября 2001 г. в корне изменили ситуацию и привели к увеличению этой доли до 32% в 2005 г. (27).

Первенство по доле инвестиций в науку на протяжении многих лет принадлежит Японии и составляет 3% в год от ВВП. По данным OECD, в Китае в 2003 г. затраты на науку и технику составили 86,4 млрд. долл. США по сравнению с 12,4 млрд. долл. в 1991 г. И хотя имеются некоторые сомнения в международной сопоставимости этих данных и достоверности цифр, Китай в этом случае занял 3-е место в мире по расходам на науку и технику, уступая только США и Японии, и вытеснил Германию (28).

Выступая на страницах журнала «Science», канцлер Германии доктор А. Меркель отметила в 2006 г., что «целью ее правительства является делать все возможное для создания условий, при которых немецкая наука стала бы одной из лучших в мире. Прави-

тельство Германии обязалось к 2010 г. выделять на исследования и разработки 3% от ВВП. Наука и исследования будут приоритетами в период президентства Германии в Европейском союзе» (22).

Мировая система науки в настоящее время претерпевает огромные изменения. Несмотря на то что объединенная Европа становится мощным центром науки мира, в соревнование между США и ЕС за лидерство в науке и технике вступила группа других стран. Триада «США, ЕС и Япония», лидировавшая на мировой сцене науки, в настоящее время заменяется четверкой. За последние десять лет, с 1996 по 2005 г., мировой поток статей увеличился со скоростью 2,3% в год. При этом Китай демонстрировал самую высокую скорость роста – около 14% ежегодно. За эти годы ранг Китая значительно повысился: по количеству публикаций он перешел с 14-го на 5-е место в мире в 2005 г. (27). По последним данным, Китай в 2006 г. вышел на 2-е место в мире по количеству публикаций, отраженных в информационной системе «Паутина науки» (Web of science (WOS)).

Способность той или иной страны вовремя осознать «точки прорыва» в научных исследованиях и колоссальные преимущества, связанные с развитием на их основе новых технологий, своевременные инвестиции в их развитие оказывают огромное влияние на экономическое и социальное развитие общества. Нанонаука и нанотехнология являются актуальнейшими направлениями исследований и разработок уже с конца XX в. Среди группы «конвергентных технологий» (информатика, науки о коммуникациях, когнитивные науки и т.д.) нанонаука и нанотехнология рассматриваются как критически новый инструмент, определяющий XXI в. и затрагивающий огромное количество секторов экономики, таких как здравоохранение, химия и нефтехимия, компьютеры, энергетика, сельское хозяйство, металлургия, текстильная промышленность, охрана окружающей среды и др. Нанотехнологии полностью революционизируют информационные технологии, материаловедение и медицину.

Нанотехнологии включают устройство и использование функциональных структур, созданных на атомном или молекулярном уровне, с величиной частиц, измеряемых в нанометрах. Законы, связанные с химическими, биологическими, электрическими, магнитными и другим свойствами, на наноуровне отличаются от законов, которые применимы к материи на макроуровне; это законы квантовой физики, которые правят в «наномире».

Конец XX в. был ознаменован огромными достижениями в этой вновь возникшей области и инвестициями в нее. В 2000 г. по инициативе президента США Б. Клинтона было выделено 500 млн. долл. на программу по нанотехнологии под названием «National nanotechnology initiative: Leading to the next industrial revolution» (28). Около 60 стран в настоящее время приняли национальные нанотехнологические программы, причем помимо развитых среди них и такие развивающиеся страны, как Индонезия, Малайзия, ЮАР и др. Мировые инвестиции в исследования и разработки в этой области имеют высокую динамику роста. По данным нью-йоркской консультационной фирмы «Lux Research Inc» (<http://www.luxresearchinc.com>), первоначальная оценка мирового нанотехнологического рынка в 1 трлн. ам. долл. ежегодно к 2015 г. была повышена до 2,6 трлн. долл.

В мире развернулась по существу настоящая гонка за лидерство в том, что, как следует из документации национальной нанотехнологической инициативы США, станет следующей промышленной революцией (<http://www.nano.gov/>).

Потенциальные возможности технологии могут оцениваться по уровню инвестиций, сделанных в эти исследования и на инновационное развитие. В настоящее время нанотехнология является главным сосредоточением активности в индустриальных странах (8). Европа, Япония и США инвестируют примерно равные суммы из правительственных фондов, оцениваемые примерно в 1 млрд. долл. США (11; 26). В 2001 г. правительство Китая объявило нанотехнологии критической областью исследований и разработок (R&D) в Программе национального развития «Guidance for national development» (12). Оценивая потенциал нанотехнологии до 2020 г., известный американский специалист М. Роко предполагал, что ее развитие от исследовательской идеи до широкого применения будет идти по пути, аналогичному развитию информационной технологии в период между 1960 и 2000 гг. и биотехнологии – между 1980 и 2010 гг. (24). В работе, посвященной возможностям глобального управления конвергенциями нанотехнологии, современной биологии, достижениями в цифровой технологии и когнитивном познании, М. Роко предлагает создать мультидисциплинарный форум или консультационно-координационную группу, в которую бы вошли представители разных стран для совместного обсуждения этих проблем (25).

Согласно данным консалтинговой компании «Lux Research Inc», в 2006 г. в исследования и разработки по нанотехнологиям в мире было инвестировано 12,6 млрд. долл. США и продано продукции с использованием этой технологии на сумму более 50 млрд. долл. Для изучения тенденций развития отдельных направлений нанотехнологии в разных странах мира в «Lux Research Inc» была собрана обширная статистика по финансированию и таким важным библиометрическим показателям, как публикации и патенты; в течение года были обследованы такие страны, как Тайвань, Южная Корея, Китай, Япония, Франция, Германия и Израиль (13). Результаты анализа показали, что США, Япония, Германия и Южная Корея пока остаются лидерами, но Китай быстро движется вперед в области нанотехнологии, включая рост финансовых вложений, количество публикаций и даже патентов.

Было установлено, что:

- расходы правительств этих стран выросли в 2006 г. до 6,4 млрд. долл. США, или на 10% по сравнению с 2005 г., федеральное правительство и правительства штатов США лидировали по затратам – 1,78 млрд. долл.; за ними следовали правительство Японии – 975 млн. долл. и правительство Германии – 563 млн. долл.; однако если сравнивать с учетом коэффициента покупательной способности (Purchasing power parity – PPP), то Китай занимал 2-е место с инвестициями в исследования 906 млн. долл.;

- в 2006 г. корпорации потратили 5,3 млрд. долл. на исследования и развитие в этих областях науки, т.е. затраты выросли на 19% по сравнению с 2005 г.; лидером затрат были США – 1,93 млрд. долл., за ними следует Япония – 1,7 млрд. долл. в расчетах по PPP; развивающиеся страны по корпоративным расходам значительно отстают, хотя некоторые из них демонстрируют значительный рост; так, например, установлено, что корпорации Китая потратили 165 млн. долл. с учетом PPP, т.е. на 68% больше по сравнению с 2005 г.;

- за период с 1995 по 2006 г. по статьям по нанонауке и нанотехнологии лидируют США – 43 тыс. публикаций; за ними следует Китай – 25 тыс., причем только в 2005 г. количество публикаций этой страны составило 6 тыс.

В отчете «Lux Research Inc» отмечается, что среди группы стран, лидирующих в этих исследованиях и технологиях, наблюдается сильная конкуренция. Южная Корея все ближе подходит к США и Японии, развивающиеся страны Китай, Индия и Россия значительно продвинулись по сравнению с 1995 г.

В 2006 г. в компании «Lux Research Inc» был разработан индекс нанотехнологии (ИН) – это средневзвешенный показатель, модифицированный по отношению к доллару, используемый для оценки 26 компаний, акции которых торгуются на Нью-Йоркской бирже. ИН основан на детальном анализе ряда показателей, разработанных в этой компании и связанных с коммерциализацией нанотехнологий. Три основных критерия использованы для измерения деятельности компаний по этому индексу:

- необходимость быть представленной в списке компаний, торгуемых на Нью-Йоркской бирже;
- стоимость компании должна быть не менее 75 млн. долл.;
- объем продаж на Нью-Йоркской бирже в предыдущие три месяца должен быть не менее 50 тыс. акций; индекс пересчитывается каждый квартал года.

Япония находится на 3-м месте в мире по инвестициям в нанотехнологии, первенство принадлежит США, а за ними следует весь Евросоюз. По данным германского Центра по распространению технологий «Technology Transfer Center» (ТТС), немецкие компании наиболее активно инвестируют в нанотехнологии по сравнению с другими странами Европы. Ежегодные затраты Германии на нанотехнологии превышают затраты любой европейской страны и достигают примерно 440 млн. долл. (330 млн. евро). В соответствии с 7-й Рамочной программой, Европейский союз (ЕС) должен инвестировать ежегодно 600 млн. евро в нанотехнологии до 2013 г. Согласно оценкам ТТС, благодаря этим дополнительным затратам ежегодные затраты Европы на нанотехнологии превысят ежегодные инвестиции США и Японии. По оценке ТТС, правительства стран Тихоокеанского региона сделали нанонауки и нанотехнологии своими приоритетами; эти страны «в целом восприняли эти направления с большим энтузиазмом, чем их европейские партнеры».

Различные исследователи стремятся произвести оценку размеров глобального рынка материалов, продуктов и процессов, базирующихся на нанотехнологии. Так, из анализа, проведенного «Mitsubishi Research Institute» в Японии, «Deutsche Bank» в Германии и «Lux Research Inc» в США, объем рынка составляет порядка 1 трлн. долл. США за период с 2010 по 2015 г. (7).

В России нанотехнологии были включены в список приоритетных направлений исследований, утвержденный президентом В. Путиным в 2002 г. (4; 5). Как было отмечено на совещании пре-

зидента РФ, «нанотехнологии во всем мире являются прорывной отраслью экономики, и страна, которая будет впереди в этой области, станет лидером в XXI в.» (3).

В апреле 2007 г. президентом РФ утверждена инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии», предусматривающая формирование инфраструктуры Национальной нанотехнологической сети. Краеугольным камнем сети должна стать «Российская корпорация нанотехнологий», которая, располагая среднегодовым бюджетом до 2015 г. около 1 млрд. долл., призвана обеспечить организационную и финансовую поддержку инновационной нанотехнологической деятельности. В Российской академии наук (РАН) создана специальная Комиссия РАН по нанотехнологии, руководство которой возложено на академика Ж.И. Алферова. Задачами Комиссии являются выработка основных направлений исследований, координация, выработка критериев материального обеспечения исследований в области нанотехнологии (2).

На протяжении последних десяти лет в мире были выполнены разнообразные библиометрические исследования для оценки состояния и развития нанонауки и нанотехнологии в разных странах мира и научных организациях. Такие анализы позволяют создать эффективные инструменты для понимания макромасштабного уровня научной деятельности. Беспрецедентный прогресс в доступе, использовании и анализе информации, содержащейся в научных публикациях и патентах, открыл инновационные возможности изучения структуры и эволюции науки. Цели этих исследований – создать новые инструменты, облегчающие доступ к информации, проникнуть в структуру знаний и оценить эволюцию знаний. Необходимо отметить, что основой для выполнения таких исследований служат базы данных (БД) Института научной информации США (ИНИ), принадлежащего с 1992 г. компании «Thomson Scientific». Этими БД являются:

- расширенная версия БД Указателя цитированной литературы по естественным наукам и технике (Science citation index-expanded (SCI));

- БД Указателя цитированной литературы по общественным наукам (Social science citation index-expanded (SSCI)), размещенная в информационной системе «Паутина науки»;

- БД «Основные показатели науки» (Essential science indicators (ESI)), которая является частью информационной платформы «Паутина знаний» (Web of Knowledge).

Экспоненциальный рост публикаций по нанотехнологиям был выявлен Т. Брауном на анализе статей по WOS. По данным Т. Брауна, Россия в 1997 г. занимала 7-е место по научному сотрудничеству в нанонауке, а РАН являлась лидером этого сотрудничества (9). Выполненное в Институте научной информации (ИНИ) США исследование по анализу публикаций по нанонаукам и нанотехнологиям за 1992–2002 гг., отраженных в БД Указателя цитированной литературы (SCI), показало, что РАН занимала 14-е место в мире среди 25 самых цитируемых организаций в этой области знания (29).

В 2006 г. были опубликованы результаты исследования бразильских специалистов, посвященные тенденциям развития нанотехнологии, основанные на анализе научных публикаций 17 стран, распределенных по двум группам. В первую группу вошли семь ведущих стран: США, Франция, Германия, Япония, Великобритания, Канада и Испания, а во вторую – десять развивающихся стран (Бразилия, Индия, Китай, Австралия, Южная Африка, Корея, Сингапур, Малайзия, Израиль и Мексика) (13). Изучение научной продуктивности в нанотехнологии было выполнено за период 1994–2004 гг. Бразильскими экспертами в области нанотехнологии было выбрано 51 ключевое слово (термин), по которым и был проведен поиск¹ (по заглавиям, рефератам и полным текстам публикаций).

Поиск по ключевым словам проводился отдельно по двум группам стран. В каждой группе были определены страны-лидеры. В первой группе ими стали США и Япония, а во второй – Китай (по группе) и Бразилия (среди стран Латинской Америки). Публикации были сгруппированы по наиболее часто употребляемому ключевым словам (ядерным терминам, темам). Для каждой группы стран были выработаны следующие макропоказатели с использованием сведений и текста найденных источников:

- общее количество опубликованных статей за период с 1994 по 2004 г. и распределение статей по ядерным терминам, взятое с годичным интервалом;

- общее количество статей и их распределение по ядерным темам с идентификацией принадлежности автора статьи к организации;

¹ Термины были предложены специалистами университета «Campinas» и согласованы с CGEE/MCT.

– ядерные, или наиболее продуктивные журналы, в которых публикуются авторы лидирующих организаций по ведущим предметным областям нанотехнологии.

В табл. 1 приведено частотное распределение ядерных нанотерминов с частотой употребления более 5%.

Таблица 1

Частота упоминания ядерных нанотерминов (ключевых слов)

Нанотермины	%
Нанокристалл	14,28
Наночастица	13,51
Наноструктура	10,06
Квантовая точка	9,13
Фуллерен	9,02
Нанотрубка	8,25
Наносоединение	5,02

Общее количество проанализированных статей из 17 стран составило 139,6 тыс. Вклад ведущих стран составил 40% (или 55,7 тыс. статей) от общего количества публикаций. На долю развивающихся стран пришлось около 14% (или 19,6 тыс. статей). Тема «нанокристаллы» является одной из пяти самых ядерных нанотем, это единственная тема, которая встречается в статьях на протяжении всего анализируемого периода. Исследователи отмечают, что с 1996 по 2003 г. частота публикаций по теме «наночастицы/наночастица» выросла на 930%. Тема «нанотрубки» также находится среди пяти ядерных тем; рост статей с 1998 по 2002 г. по этой теме достиг 296%. С 1999 по 2003 г. было выявлено 200 статей по теме «квантовая точка».

Макротенденции научного развития нанотехнологии в ведущих странах

Лидерство Соединенных Штатов в этой области очевидно, количество публикаций американских ученых по нанотехнологии почти вдвое больше, чем следующих за ними японских. Публикации США и Японии совместно составляют 58% всего количества среди ведущих стран (рис. 1). Экспоненциальный рост статей по нанотехнологии за период с 1994 по 2004 г. представлен на рис. 2.

Этот рост составил 650% относительно 1994 г. Анализ количества публикаций за 2003 и 2004 гг. позволяет предположить, что их уменьшение связано с временным лагом при обработке статей, поступающих в базу данных.

Одна из задач представительного библиометрического исследования – выявление ведущих исследовательских центров по данному направлению науки. В исследовании было установлено, что статьи авторов из пяти лидирующих институтов США по теме «наночастицы/наночастица» представляют 16% публикаций от всего количества статей, опубликованных по этой теме (2787 статей). При этом из пяти американских институтов, имеющих самое большое количество статей по ядерным темам, только три имеют публикации, посвященные нескольким нано направлениям. Это Калифорнийский университет Беркли (Berkeley), Иллинойский университет и Массачусетский технологический институт.

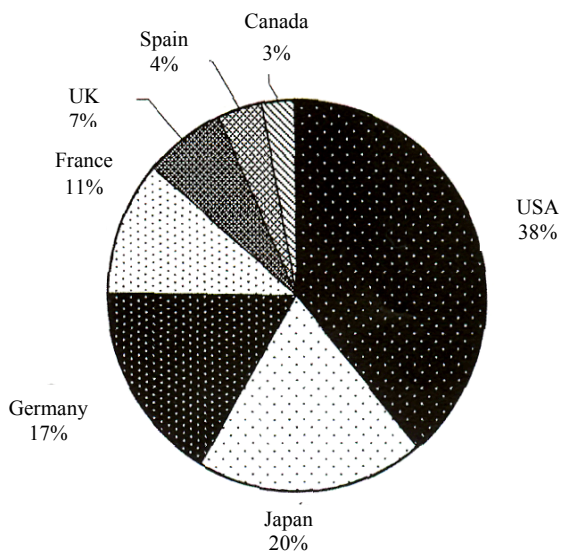


Рис. 1. Распределение количества публикаций по нанотехнологии ведущих стран за период 1994–2004 гг. (в %)

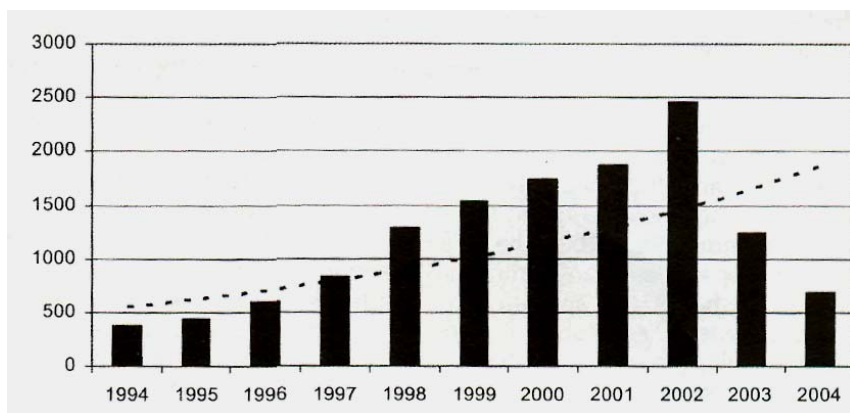


Рис. 2. Историческое развитие нанотехнологии по публикациям ведущих стран мира за период с 1994 по 2004 г.

Японские публикации по «нанокристаллам» находятся среди пяти наиболее часто встречающихся ядерных тем, опубликованных с 1994 по 2004 г., с колебанием 20–150 статей в год. Эта нанотема – единственная, публикации по которой наблюдаются в течение всего изученного периода, та же тенденция наблюдалась и в США. С 1997 по 2003 г. произошел значительный рост числа японских статей по теме «наночастицы/наночастица» (на 833%), достигший 270 статей в 2003 г. Тема «нанотрубки» появляется среди пяти ядерных тем в период с 1994 по 2004 г. Тема «квантовая точка» выходит на 1-е место среди других пяти ядерных нанотем в период с 1999 по 2003 г.; наибольшее число публикаций в этой области появилось в 2000 г. – 189 статей. Публикации по теме «фуллерен» появляются с 1994 по 2002 г., наибольшее количество статей (136) было опубликовано в 2000 г.

Университет Токио занимает лидирующее положение по теме «квантовая точка», его авторам принадлежит 22% от общего количества статей по этой теме, написанных в целом по стране. Этот университет входит в группу из пяти научных заведений, лидирующих по таким направлениям, как «наночастица/наночастицы», «нанотрубка», «наноструктура», «квантовый провод» и «наноразмер». В ядерной теме – «наночастица/наночастицы» – лидирует Осакий Университет – более 10% статей от общего количества публикаций. Представляет интерес тот факт, что корпорация «NEC

Ltd» находится среди пяти организаций с самой высокой публикационной активностью по теме «нанотрубка» (82 из 947 статей).

Выявлены два самых продуктивных журнала в США и Японии с наибольшим количеством американских и японских публикаций по ключевым темам – «наночастица/наночастицы» и «квантовая точка». Это журнал «Applied physics letters», публиковавший экспериментальные и теоретические статьи о применении результатов в физике и современных технологиях, и журнал «Journal of physical chemistry», сер. В (JPC: B), публиковавший статьи о материалах (наноструктурах, макромолекулах, биофизической химии и физической химии), а также статьи о структурах и свойствах поверхностей и соединений.

Макротенденции в нанонауках в развивающихся странах

Внутри группы развивающихся стран первенство принадлежит Китаю, который за последние 11 лет опубликовал 51% статей от общего количества публикаций. Бразилия находилась на 5-м месте, ее доля составила 5% от общего количества статей. Доли Кореи, Индии и Израиля составляли, соответственно, 14, 11 и 7%. Доли статей Австралии, Сингапура и Мексики составляли менее чем 5% (см. рис. 3). Экспоненциальный рост количества статей по нанотехнологии за период с 1994 по 2002 г. представлен на рис. 4. Этот рост составил более 1500% относительно 1994 г.

Лидерство Китая среди развивающихся стран очевидно. Учеными этой страны было опубликовано более 10 тыс. статей по нанотехнологии. Количество публикаций по теме «нанокристаллы», опубликованных между 1994 и 2002 гг., выросло более чем на 1000%. Рост публикаций по теме «наночастицы» между 1998 и 2002 гг. достиг 530% с наибольшим количеством статей (более 360) в 2003 г. Количество статей по ядерной теме «нанотрубки» с 2000 по 2002 г. составило больше чем 100 в год.

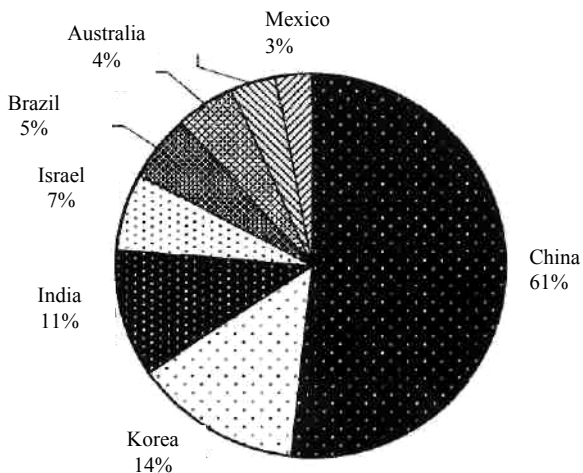


Рис. 3. Доли распределения научных публикаций по нанотехнологии среди развивающихся стран за период с 1994 по 2004 г.

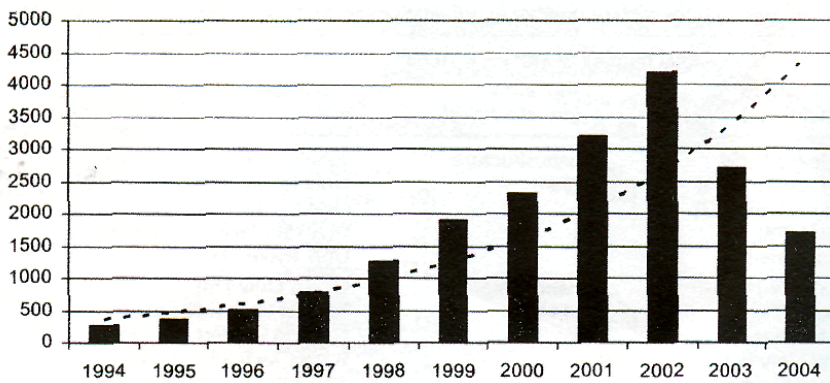


Рис. 4. Историческое развитие нанотехнологии по статьям, опубликованным странами-конкурентами

Академия наук Китая присутствует среди лидирующих организаций с самым большим числом статей по всем ядерным темам, демонстрируя разносторонность в исследованиях, проводимых этой организацией в области нанотехнологии. Количество публи-

каций по теме «квантовая точка» составляет 45% от общего количества статей, опубликованных по этой тематике.

Статьи ученых Бразилии в области нанотехнологии составляют только 5,7% (1066 статей) от общего количества публикаций развивающихся стран за последние 10 лет. Эта статистика демонстрирует необходимость государственной поддержки и эффективного стимулирования исследований, развития и рационализаторства в этой области. Исследователи отмечают, что два бразильских института занимают лидирующее положение по количеству публикаций по ядерным нанотемам: это университет «Sao Paulo» (USP) и университет «Campinas» (Unicamp). На их долю по теме «квантовая точка» пришлось более 24% статей. Университет «Brasilia» (UnB) лидирует по публикациям на тему «наночастица» с долей 24% статей, за ним следует университет «Sao Paulo» (его доля составила 19% статей).

У лидера развивающихся стран Китая самая большая публикационная активность. Как отмечалось ранее, ведущей организацией в области нанотехнологии является Академия наук Китая. Публикации Китая по двум ведущим направлениям – «наночастицы» и «нанокристаллы» – появляются, в основном, в журнале «Applied physics letters» (экспериментальные или теоретические статьи, исследования по применению в физике и современных технологиях).

Авторы исследования пришли к выводу: несмотря на лидерство семи ведущих стран (США, Япония, Германия, Франция, Великобритания, Испания и Канада) в области нанотехнологии (общее количество статей – более 50 тыс.), публикации развивающихся стран (Китай, Кореи, Индии, Израиля и др.), пока только выходящих на арену, уже достигли значительных масштабов (около 20 тыс. статей за исследуемый период).

Среди ведущих стран США находятся вне конкуренции. Публикации ученых Китая уже достигают 50% от публикаций американских ученых в области нанотехнологии. Количество публикаций Китая сопоставимо с количеством статей Германии, занимающей 3-е место среди ведущих стран. Можно отметить также, что общее количество публикаций Кореи и Индии соответствует 6-му месту среди ведущих стран (на этом месте находится Испания).

Среди терминов термин «наночастицы» лидирует как в ведущих странах, так и в развивающихся. Самое большое количество статей по этой теме было опубликовано в «Journal of physical chemistry», сер. В Американского химического общества (American

chemical society). Этот журнал является самым продуктивным (ядерным) изданием для обеих групп стран. Вторым по результатам поиска термин – «нанокристаллы».

В публикациях Бразилии, лидера Латинской Америки из группы развивающихся стран, самый популярный термин – «квантовая точка». Наблюдения показали, что исследования в области нанотехнологии, проводимые в Бразилии, отстают от подобных исследований в других развивающихся странах. Авторы констатируют, что правительство Бразилии прилагает много усилий для оказания действенной поддержки научному и технологическому развитию нанотехнологии. Постановление, принятое в 2004 г. правительством Бразилии, определило нанотехнологию наряду с биотехнологией приоритетной областью науки и рассматривало ее как ключ к укреплению благосостояния общества.

В 2007 г. были опубликованы результаты нескольких больших проектов, посвященных библиометрическому анализу нанонауки и нанотехнологии (15–18; 21; 23). Общей чертой этих исследований является детальный анализ зарождения и развития отдельных подобластей исследований в области нанонауки. В работе М. Игами, выполненной по заказу Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), специальное внимание уделялось исследованиям недавно возникших и активно развивающихся областей знаний в странах, не являющихся членами ОЭСР, а именно в Китае, Индии, Бразилии и России (21).

В работе «Sweating the small stuff, 1992–2002» (29) отмечается, что США значительно превосходят ЕС в такой приоритетной области, как нанотехнология. Из-за расширения ЕС до 25 стран его доля снизилась с 41 до 35%. Доля статей России по нанотехнологии за период 2002–2006 гг. снизилась примерно в два раза (с 3% в 2002 г. до 1,5% в 2006 г.). Доля статей Китая по нанотехнологиям выросла в 2006 г. до 16%.

Наукометрическое исследование развития нанотехнологии (23) было основано на анализе 168 тыс. статей за 1999–2003 гг. с применением метода библиографического копелирования¹. Публикации были сгруппированы на основе классификации журналов в ИНИ США по семи предметным областям: теоретические проблемы

¹ Метод библиографического копелирования был предложен М. Кесслером в 1963 г. Две работы считаются взаимосвязанными, если они цитируют одну и ту же публикацию.

нанотехнологии (NanoTheoretical), исследование биологических молекул с помощью нанотехнологии (BioNano), мезопоры (Mesoporous), углеродные нанотрубки и фуллерены¹ (NanoObjects), электронная оптика (OpticElec), наноматериалы (Nanomater), магнетизм и квантовые точки (MagnetQuant).

Несмотря на распространенное мнение, что нанотехнология – область в высшей степени мультидисциплинарная, оказалось, что только исследования биологических молекул с помощью нанотехнологии наиболее тесно связаны с рядом областей знаний: проблемами фундаментальной биологии, медицинскими исследованиями, химией. Остальные шесть предметных областей пересекаются, в основном, с одной-двумя областями. США и Канада имеют наиболее сбалансированный массив публикаций, за исключением сильной концентрации исследований в области бионанотехнологии. Характерной для России является концентрация публикаций по двум областям: магнетизм (и квантовые точки) и нанотрубки.

Роль России как одного из активных игроков в области нанотехнологии отмечалась в выводах большого сопоставительного проекта по изучению развития ключевых научных направлений, решающих для экономики развивающихся странах (Китае и Индии) (15–17). В этом проекте наряду с библиометрическими показателями широко использовались методы компьютерной лингвистики, социологии общения ученых и интервьюирования для разработки «дорожных карт» будущих семинаров и взаимных научных обменов.

В СССР исследования по нанонауке выполнялись уже в середине 70-х годов. Первая отечественная публикация, посвященная специальным свойствам наночастиц и наноструктурных материалов, появилась в открытой печати в 1976 г. В 1979 г. АН СССР приняла специальную программу по ультрадисперсионным системам. Значительный интерес в СССР к этой тематике подтверждается большим количеством участников в ряде конференций по нанонаукам и нанотехнологиям, организованных в СССР и России в 1984, 1989 и 1993 гг. Наукометрическое пилотное исследование развития нанонаук в России на основе анализов грантов, выданных РФФИ по этой тематике, было выполнено в 2006 г. А. Тереховым (6).

¹ Углеродные трубки и фуллерены – далее нанотрубки.

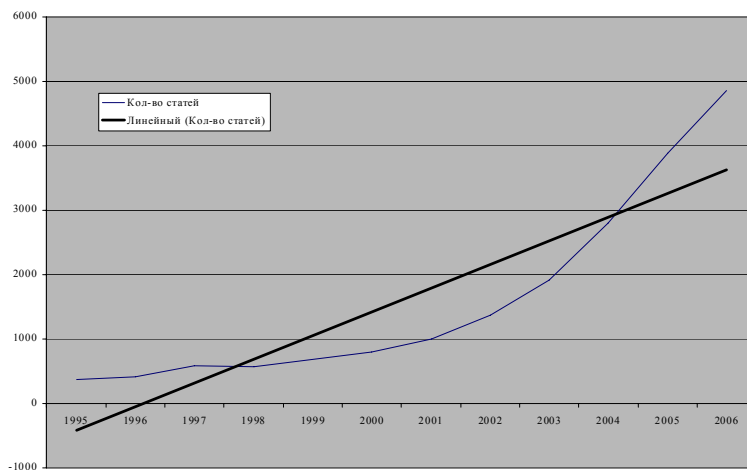


Рис. 5. Рост количества статей по бионанотехнологии за 1995–2006 гг.

Анализ тенденций публикационной активности промышленно развитых стран и России, в частности по бионанотехнологии, за период с 1995 по 2006 г. был выполнен также в ВИНТИ (1). Процедура поиска в WOS была осуществлена по следующим ключевым словам: «nano» and «bio». Анализ массивов публикаций по бионанотехнологии проводился с трехлетними интервалами с 1995 по 2006 г. Всего при поиске за обследуемый период было идентифицировано 19,2 тыс. статей. Динамика роста публикаций представлена на рис. 5.

В 2005 г. в ИНИ была разработана специальная аналитическая система, позволяющая путем простого алгоритма поиска получить различного рода распределения (по странам, организациям, областям знаний, журналам и т.д.) массива, не превышающего 100 тыс. библиографических записей. В этой работе нами были использованы аналитические возможности системы WOS. За последние 11 лет общее количество статей, опубликованных в области бионанотехнологии, выросло почти в 10 раз. США являются бесспорным лидером в течение всего исследуемого периода. Незначительные изменения в рангах произошли в странах «большой семерки». Россия, так же как и ряд других стран Европы (Финляндия, Дания, Швеция), значительно снизила свой ранг (с 12-го в 1995–1997 гг. до

19-го в 2004–2006 гг.). Наши данные подтверждают выводы ряда зарубежных исследователей о «рывке» «Азиатских тигров». Если количество публикаций России выросло на порядок, то количество статей Сингапура – в 70 раз, а китайских и южнокорейских статей – на два порядка.

В целом можно констатировать, что с ростом публикационной активности России наблюдался значительный рост организаций, участвующих в этих исследованиях.

Выявление лучших исследовательских коллективов – одна из целей эффективного инвестирования в науку. Анализ наиболее активно публикующихся организаций по проблемам бионанотехнологии позволил установить, что РАН продолжает вносить существенный вклад в эти исследования. Как выше уже отмечалось, значительные темпы роста числа публикаций по этой проблеме и огромный скачок азиатских стран за последнее десятилетие изменили ранг РАН в списке лидирующих организаций, снизив его с 5-го (0,96% мирового потока по этой проблеме) в 1995–1997 гг. до 25-го (0,7%) в 2004–2006 гг.

Соотношение количества статей, опубликованных при международном сотрудничестве, к общему количеству статей, опубликованных учеными той или иной страны, является показателем интегрированности национальной науки в мировую. Это соотношение для обследуемого массива составило 47,4%. В 1995–1997 гг. в сотрудничестве с Россией по бионанотехнологии участвовало 7 стран, а за период с 2004 по 2006 г. количество сотрудничающих с Россией стран возросло до 29. Эти данные свидетельствуют о высоком уровне интернационализации отечественных исследований. Необходимо подчеркнуть, что подпрограмма 7-й Рамочной программы ЕС «Сотрудничество» предусматривает создание европейских научно-исследовательских пулов для транснационального сотрудничества лабораторий исследовательских центров, в том числе по нанотехнологии, в которых предусмотрено участие отечественных ученых. Напротив, в исследовании (16) отмечалось, что китайские публикации по ряду проблем, связанных с нанотехнологией, были замкнуты на национальном уровне.

Выбор исследователем научного журнала для опубликования статей всегда является важным моментом в системе научных коммуникаций. Определение круга наиболее профильных (ядерных) журналов представляет значительный интерес как для исследователей, следящих за новой литературой по проблеме, так и для ученых.

Распределение статей по журналам продемонстрировало явно дисперсный характер распространения отечественного знания – эти статьи были опубликованы в 154 журналах. Наблюдалась также значительная дисперсия мирового массива статей по бионанотехнологии.

С середины 80-х годов появилось 16 новых журналов по нано науке и нанотехнологии, что убедительно свидетельствует о темпах развития исследований в этой революционной области знания (10). Значительна роль химических журналов, и в частности публикаций рефератов годовичного собрания Американского химического общества (Abstracts of papers of the american chemical society) как канала научной коммуникации по бионанотехнологии. Среди журналов биологического профиля высокое место принадлежит одному из лучших американских журналов «Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America» (PNAS). Анализ распределения публикаций по предметным областям демонстрирует взаимосвязи бионанотехнологии с другими областями знаний.

Неизменно вершину списка занимает химия, причем доля статей по данной области более чем удвоилась за исследуемый период. Доля статей по материаловедению выросла почти в 4 раза за тот же период времени. При этом доля статей по биохимии и молекулярной биологии снизилась с 14,1% в 1995–1997 гг. до 9,0% в 2004–2006 гг.

Распределение публикаций по языкам, как и следовало ожидать, продемонстрировало доминирующее положение английского языка. Как отмечается в работе (30), с конца Второй мировой войны английский язык стал общепринятым языком научных коммуникаций ввиду ряда политических и экономических причин. Тенденции опубликования статей на английском языке за последние 10 лет демонстрируют ученые Нидерландов, Германии, Франции, Испании, Италии и России. Отметим, что в настоящее время отечественные публикации в журналах, выпускаемых «МАИК-Наука» как на русском, так и на английском языках, отражаются в БД WOS на английском языке.

В библиометрическом исследовании по оценке вклада России в мировую науку по развитию полупроводниковых наноструктур, выполненном в ВИНТИ в 2008 г. (19), также была использована статистика, полученная при поиске по ключевым словам по полупроводниковым наноструктурам в информационной системе WOS. Поиск осуществлялся по следующим ключевым словам:

«квантовые ямы», «квантовые точки», «квантовая проводка» и «полупроводниковые нанокристаллы» (quantum well* OR quantum dot* OR quantum wire* OR semiconductor nanocrystal*). В результате поиска в БД WOS был получен массив, состоящий из 92,6 тыс. статей по этому направлению за период с 1997 по 2007 г.¹ Массив отечественных статей за этот период составил 6,4 тыс., или 6,9% от мирового потока по этому направлению, что превышает в три раза долю статей России в мировом потоке за 1995–2007 гг. (27). Динамика отечественного и мирового потоков публикаций при поиске в БД SCI представлена на рис. 6 и рис. 7.

Международное сотрудничество отечественных исследований в этой области очень высокое, его доля составляла 45,1% в 1995 г. и 52,5% в 2007 г. Лидерами научного сотрудничества являлись Германия и США.

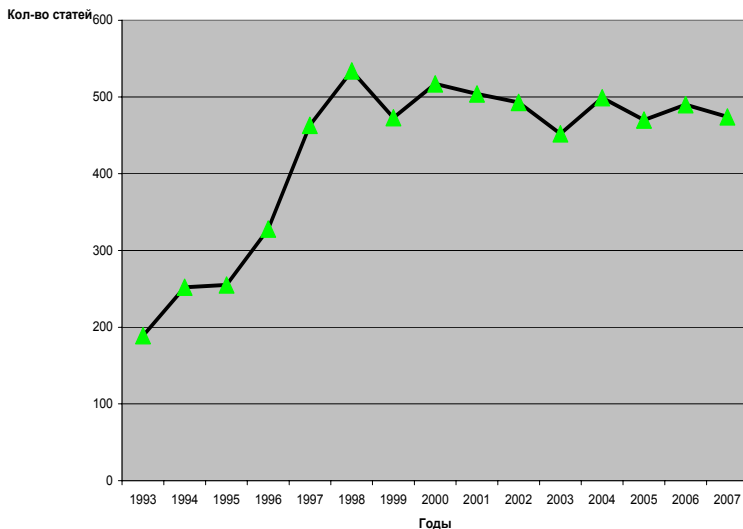


Рис. 6. Динамика роста отечественных статей по полупроводниковым наноструктурам по БД SCI за 1993–2007 гг.

¹ Россия как отдельная страна появилась в БД ИНИ с 1993 г.

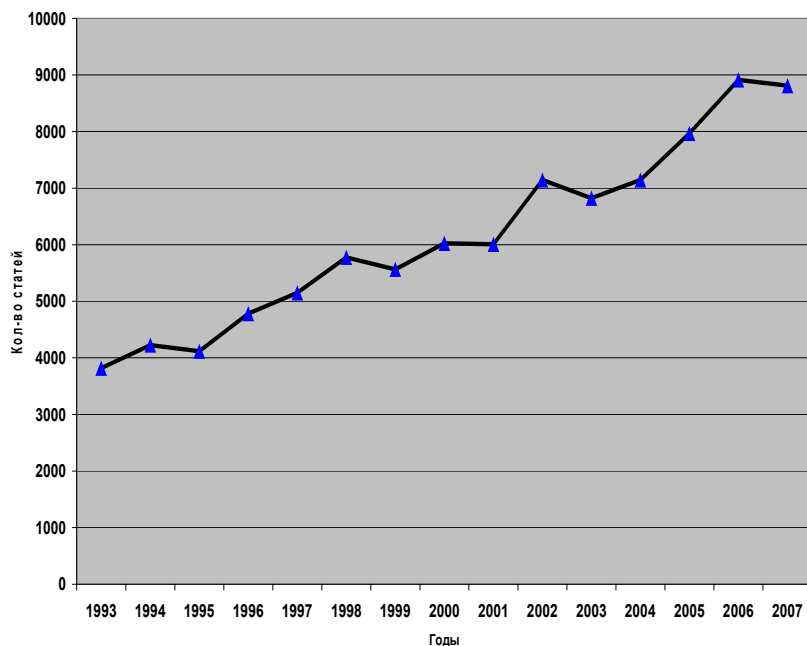


Рис. 7. Динамика роста мирового потока статей по полупроводниковым наноструктурам по БД SCI за 1993–2007 гг.

В этом исследовании была использована также статистика, полученная при поиске по заданной тематике в БД Аналитической системы РФФИ (19). Эта БД содержит широкий спектр наукометрических параметров, позволяющих производить всевозможные выборки для изучения тенденций развития научных направлений и оценки деятельности отдельных ученых и научных коллективов.

Были проанализированы 1022 гранта, выданных РФФИ по нанотехнологии за 1996–2005 гг., в которых участвовали более 7979 специалистов (3090 уникальных участников) из 106 организаций. Наиболее успешной в получении грантов была Школа академика Ж.И. Алферова при Институте теоретической и экспериментальной физики им. А.Ф. Иоффе РАН. Доля грантодержателей из этого института составила 12,6%. Была выявлена группа из пяти организаций-лидеров по количеству грантов. На долю этих пяти ведущих организаций приходится 33% грантодержателей. В ре-

зультате выполнения проектов по нанотехнологии с 1996 по 2005 г. было опубликовано более 5,6 тыс. документов, из которых более 50% составили журнальные статьи (20). На рис. 8 представлено распределение грантов и публикаций грантодержателей РФФИ. Наблюдается экспоненциальный рост публикаций по анализируемой тематике.

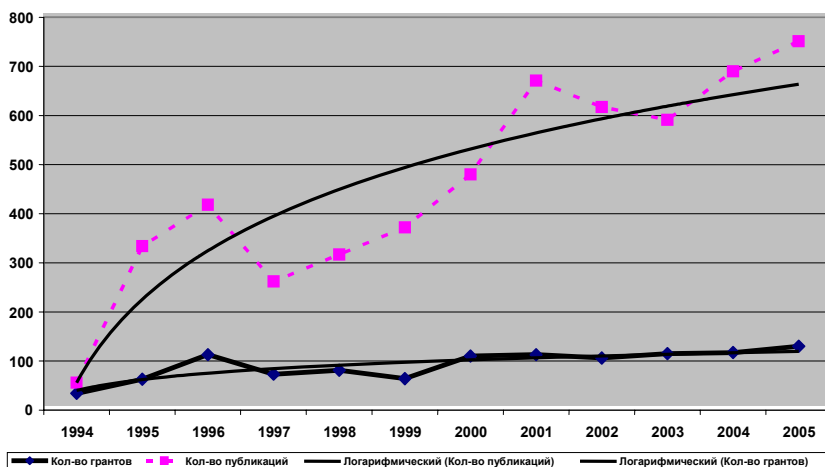


Рис. 8. Распределение грантов и публикаций грантодержателей РФФИ по нанотехнологии с 1994 по 2005 г.

Средняя продуктивность одного проекта составила 6,6 публикаций, что в два раза выше средней продуктивности одного проекта по всему массиву грантов РФФИ. Однако патентная деятельность достаточно низкая. Мы идентифицировали 25 релевантных патентов и только один патент, зарегистрированный в США.

Цитируемость ученого является важным показателем его вклада в науку и способствует росту влияния отечественной науки на мировую. Оценка цитируемости 145 известных отечественных специалистов в области нанотехнологий, которые могут служить потенциальными экспертами для распределения исследовательских грантов по этой тематике, дала возможность отобрать наиболее цитируемых специалистов за период с 2000 по 2006 г. по БД WOS.

Затем по БД Scopus были проанализированы индексы Хирша¹ 35 специалистов, работы которых были процитированы более 100 раз за анализируемый период времени. На рис. 9 представлено соотношение между цитируемостью и индексом Хирша (14) этих исследователей.

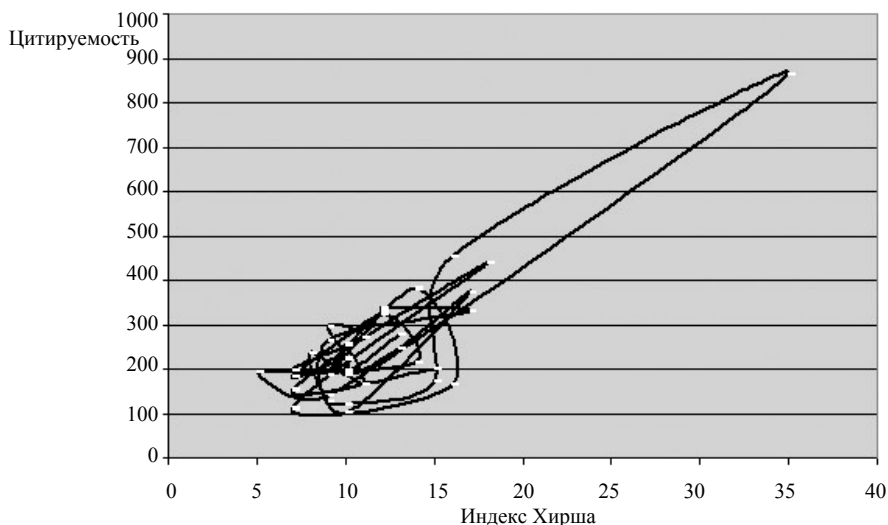


Рис. 9. Соотношение между цитируемостью и индексом Хирша потенциальных экспертов по нанотехнологиям

Индекс этих исследователей колеблется в пределах от 12 до 17. Такое значение индекса Хирша соответствует званию профессора в престижных университетах США. Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Общая доля России в мировом потоке статей снижалась за последнее десятилетие со скоростью 2% в год; в то же время внутри отечественного потока доля отечественных публикаций по сверхпроводниковой нанотехнологии в три раза превышала общую долю России.

¹ Индекс Хирша (ИХ) вычисляется за определенный период времени и представляет собой соотношение количества ссылок на группу наиболее цитируемых статей исследователя к количеству статей этой группы, опубликованных за тот же период времени.

2. Как показывают результаты многочисленных зарубежных библиометрических исследований, выполненных за последние годы, Россия сохраняет свое положение среди 25 стран-лидеров по широкому спектру исследований в области нанонауки и нанотехнологии за 1995–2006 гг. Однако темпы роста отечественных публикаций по этой тематике в информационной системе WOS значительно отстают от темпов роста количества публикаций США и Китая.

3. Институты РАН являются лидерами среди отечественных организаций по проблемам сверхпроводниковой нанотехнологии, и бионанотехнологии в частности.

4. Цитируемость специалистов РАН по проблемам нанотехнологии значительно превосходит среднюю цитируемость отечественных исследователей.

5. Степень международного сотрудничества в области нанотехнологии очень высока, и коэффициент сотрудничества, оцениваемый по количеству совместных работ, колеблется в пределах 50%, несмотря на незначительное снижение ее доли в мировом массиве статей.

6. Государственная поддержка фундаментальной науки в России является единственным способом укрепления роли отечественной науки в мировой гонке за лидерство в нанотехнологии.

Литература

1. Борисова Л.Ф., Богачева Н.С., Маркусова В.А., Суэтина Е.Э. Нанотехнологии в биохимии: библиометрический анализ по БД Science Citation Index, 1995–2006 гг. // НТИ. Сер. 1. – 2007. – № 8. – С. 7–26.
2. Гинзбург В.Л. Нанотехнологии и сверхпроводимость // Поиск – 2008. – № 6. – С. 3.
3. Киселев В.И., Рубальтер Д.А., Руденский О.В. Инновационная политика в области нанотехнологий: опыт США и ЕС // Информационно-аналитический бюллетень ЦИСИ. – 2008. – № 1. – С. 3–101.
4. Основы политики РФ в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу. Утв. Президентом РФ и Правительством РФ. – 2002. – 30 мар. – Пр. 576.
5. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Утв. Президентом РФ и Правительством РФ. – 2006. – 21 мая. – Пр. 576.

6. Терехов А.А., Терехов А.И. Развитие НИР по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалы»: анализ и оценка позиций России в области наноматериалов // Вестник РФФИ. – 2006. – № 4. – С. 23–34.
7. Alencar M.S., Canongia C., Antunes A.M. Trends and geography of nanotechnological research // Fennia. – 2006. – Vol. 184, N 1. – P. 37–48.
8. Baker S., Aston A. The business of nanotech // Business Week. – 2005. – 14 Feb. – P. 64.
9. Braun T., Schubert A., Zsindely S. Nanoscience and nanotechnology on the balance // Scientometrics. – 1997. – Vol. 38. – P. 321–325.
10. Braun T., Zsindely S., Diospatonyi I., Zador E. Gatekeeping patterns in nano-titled journals // Scientometrics. – 2007. – Vol. 70, N 3. – P. 651–667.
11. Foster L.E. Nanotechnology: Science, innovation and opportunity. – Pretence Hall, New Jersey, 2005. – 336 p.
12. Hao Xin, Gong Yidong. China bets big on big science // Science. – 2006. – Vol. 311, N 5767. – P. 1549.
13. Hebert P. Top nations in nanotech see their lead erode. US, Japan, Germany, and South Korea remain leading countries, but China, India and Russia begin to close the gap. – Mode of access: <http://www.luxreserachinc.com>
14. Hirsch J.E. An index to quantify an individual's scientific research output // PNAS. – 2005. – Vol. 102, N 46. – P. 16569–16572.
15. Kostoff R., Bhattacharya S., Pecht M. Assessment of China's and India's science and technology literature: Introduction, background, and approach // Technological forecasting & social change. – 2007. – Vol. 74. – P. 1519–1538.
16. Kostoff R., Briggs M. and others. Chinese science and technology: Structure and infrastructure // Technological forecasting & social change. – 2007. – Vol. 74. – P. 1539–1573.
17. Kostoff R., Briggs M. and others. Comparisons of the structure and infrastructure of chinese and indian science and technology // Technological forecasting & social change. – 2007. – Vol. 74. – P. 1609–1630.
18. Leydesdorff L., Wagner C. Is the United States losing ground in science? A global perspective on the world science system // Proceedings of the 11-th International conference of the International soc. for scientometrics and informetrics, CSIC. – Madrid, Spain. – 2007. – 25–27 June. – Vol. 1. – P. 499–507.
19. Markusova V., Jansz M., Libkind A., Libkind I., Minin V.A. Russian research in a novel field: The case of the nanotechnology subfield // Book of abstracts. 10-th International conference on science and technology indicators. – University of Vienna, Austria, 2008. – 17–20 Sept.
20. Markusova V., Jansz M., Libkind A., Libkind I., Varshavsky A. Trends in russian research output in post-soviet era // Proceedings of the 11-th International confer-

- ence of the International society for scientometrics and informetrics, CSIC. – Madrid, Spain, 2007. – 25–27 June. – Vol. 2. – P. 542–551.
21. Masatsura Igami, Ayaka Saka. Capturing the evolving nature of science, the development of new scientific indicators and the mapping science. – 2007. Mode of access: <http://www.oecd.org/sti/working-papers>
 22. Merkel A. German Science Policy // Science. – 2006. – Vol. 313. – P. 147.
 23. Bassecoulard E., Lelu A., Zitt M. Mapping nanosciences by citation flows: Analysis // Scientometrics. – 2007. – Vol. 70, N 3. – P. 859–880.
 24. Roco M.C. Nanoscale science and engineering: Unifying and transforming tools // AIChE Journal. – 2004. – Vol. 50, N 5. – P. 890–897.
 25. Roco M.C. Possibilities for global governance of converging technologies // Journal of nanoparticle research. – 2008. – Vol. 10, N 1. – P. 11–29.
 26. Schulte J. Nanotechnology: Global strategies, industry trends and applications. – John Willey and sons, Sussex, 2005. – 194 p.
 27. Science& engineering indicators – 2008. National science foundation, 2008. – Vol. 1–2.
 28. Science& engineering indicators – 2006. National science foundation, 2006. – Vol. 1–2.
 29. Sweating the small stuff, 1992–2002 // Science watch. – 2003. – Vol. 14, N 3. – P. 1–2.
 30. Tardy C. The role of English in scientific communication: Lingua franca or tyrannosaurus rex? // Journal of English for academic purposes. – 2004. – Vol. 3, N 3. – P. 247–269.