

# НАНОТЕХНОЛОГИЯ В БИБЛИОМЕТРИЧЕСКОМ "ЗЕРКАЛЕ"

А.Терехов  
a.i.terekhov@mail.ru

Существует широкое понимание нанотехнологии (НТ) как ключевой технологии 21 века. Правительство практически каждой страны, поддерживающей исследования и разработки, видит в НТ источник инноваций, воздействие которых может существенно возрасти через конвергенцию с био-, инфо- и когнитотехнологиями.

Понимание глобальных процессов развития НТ тесно связано с возможностью их измерения. Официальная статистика пока не вполне справляется с этой задачей из-за сложности создания для этой сферы удовлетворительных классификационных систем. По этой причине достаточно широкое распространение получили библиометрические исследования, имеющие национальную и международную направленность [1]. В России подобные работы также проводятся [2]. Ниже представлен краткий библиометрический анализ развития НТ с оценкой позиций нашей страны.

## Общие библиометрические индикаторы

Исходная выборка для проведенного исследования получена при поиске в базе данных (БД) SCI-Expanded по содержащимся в названиях публикаций ключевым словам. Помимо терминов с приставкой "nano", в состав поисковых введены термины: "graphene", "quantum dot", "photonic crystal" и др. Исключены такие, не относящиеся к делу термины, как: "nanogram", "nanosecond" и т. п.

За 1990–2009 годы в указанной БД выделено 303484 публикации по теме, в которых в качестве авторов участвовали представители более 120 стран. На рис.1 представлена лидиру-

ющая десятка стран по вкладу в массив таких публикаций. Судя по этим данным, несмотря на повышение интереса отечественных ученых к данной области, вклад России в мировой научный выход за рассматриваемый период весьма существенно снизился (рис.2). Достигнув максимума в 8,1% (1997), он стал неуклонно снижаться вплоть до 3,5% (2009). В результате по этому показателю наша страна переместилась с пятого на десятое место. Если в 1997 году в 100 наиболее продуктивных в области НТ авторов входили 12 россиян, то в 2009 году российских ученых в числе первых 500 авторов уже не было.

Представляется, что эти негативные тенденции стали следствием недостаточного внимания к науке в нашей стране в

предшествующие два десятилетия и слабой целевой поддержки ее приоритетных областей на фоне принятия многими странами в начале 2000-х годов национальных программ развития НТ. Ситуацию не смог переломить даже значительный рост финансирования в связи с принятием в 2007 году президентской инициативы «Стратегия развития нанотехнологии».

По количеству публикаций в сфере НТ в 2009г. Россию обошли Индия и Тайвань, занимавшие в 1997г. 14-е и 15-е место.

Показатели цитируемости в силу ряда вполне понятных причин, рассчитаны на октябрь 2010г. Можно со значительной долей уверенности заявлять, что за прошедшее время этот показатель изменится

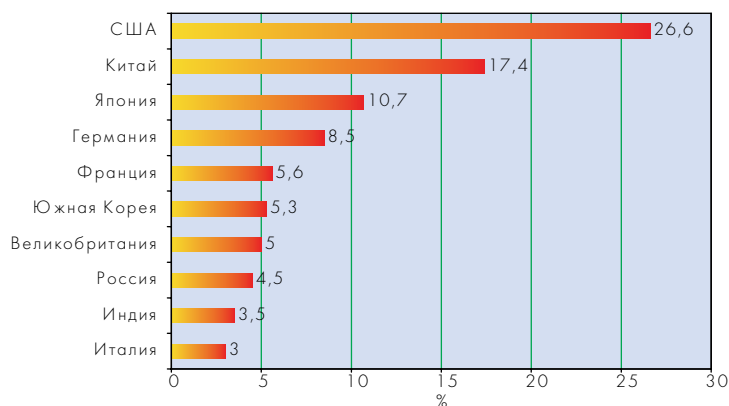


Рис.1. Вклад стран в массив публикаций по проблеме НТ за 1990–2009 годы



незначительно. По кумулятивному показателю цитирования всех публикаций в сфере нано в БД SCI-Expanded за 1990–2008 годы. Россия была на 13-м месте, среднее же число ссылок на одну публикацию по проблеме (9,9) оставляет ее в четвертом десятке стран.

Рассматривая группу публикаций с наивысшим показателем воздействия, следует отметить, что тысячу и более цитирований за рассматриваемый период имели 140 публикаций по теме. В числе их авторов – ученые из 15 стран. Наибольший вклад (103 публикации) принадлежит исследователям из США. Далее следуют Великобритания (10), Нидерланды и Франция (по 8), Япония и Германия (по 7), Швейцария и Китай (по 4), Россия и Италия (по 3 публикации).

На верхних позициях находятся работы, посвященные открытию углеродных нанотрубок (УНТ) (Япония, 9864 ссылки) и фуллеренов (США и Англия, 6930 ссылок), а также методу из-

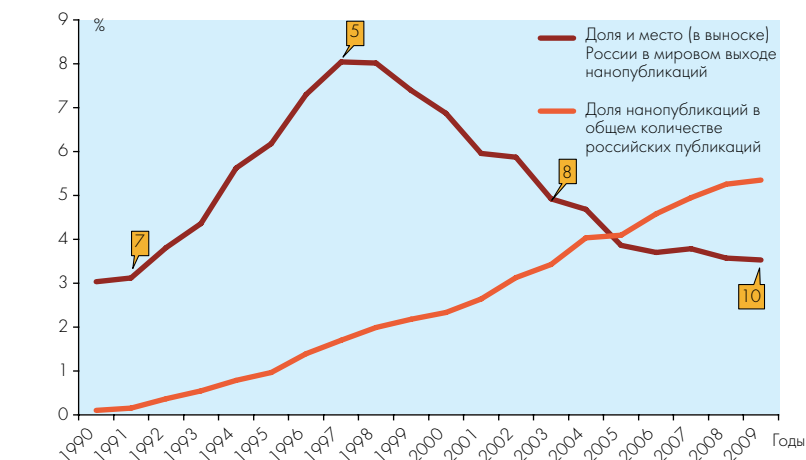


Рис.2. Изменение доли российских нанопубликаций: в мировом выходе нанопубликаций; в общем количестве российских публикаций (по БД SCI-Expanded)

готовления массива кремниевых квантовых проводов (Англия, 5386 ссылок). На 9-м и 23-м местах стоят две работы по графену, опубликованные российскими исследователями (Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов – ИПТМ РАН) совместно с учеными из Англии в журнале

Science (2004) и со специалистами из Англии и Нидерландов в журнале Nature (2005). На 38-м месте находится статья из Уфимского государственного авиационного технического университета о методах создания наноструктурированных объемных материалов при использовании интенсивной плас-

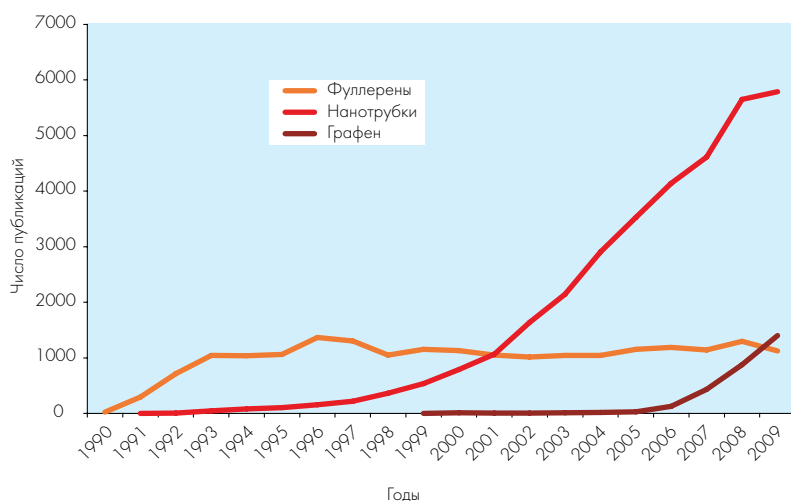


Рис.3. Количество публикаций в области углеродных наноструктур по годам

тической деформации, опубликованная в 2000 году.

По тематической направленности публикаций наивысшую цитируемость имеют работы, посвященные УНТ – 27%. Далее следуют полупроводниковые наноструктуры (17%), нанобиотехнология и наномедицина (12%). Все это характеризует основные интересы мирового нанотехнологического сообщества в рассматриваемый промежуток времени.

К очевидным приоритетам последнего периода относится графен. Достаточно сказать, что из десяти высоко цитируемых публикаций в сфере нано с 2005 г. ему посвящены три наиболее цитируемые. Конечно, внимание к российским работам и высокие показатели их цитируемости (две имеют больше тысячи и девять – больше ста цитирований) в значительной степени определяет соавторство с нашими бывшими соотечественниками А.Геймом и К.Новосёловым, которые «за новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена» в 2010 году получили Нобелевскую премию по физике

Следует отметить, что присуждение уже второй Нобелевской премии практически в сфере наноматериалов (первая – по химии в 1996 году "за открытие фуллеренов") свидетельствует об особой роли уг-

леродных наноструктур для НТ.

### Об «углеродной» нанотехнологической гонке

Начало гонке положило открытие в 1985 году учеными из США и Великобритании фуллеренов. В 1990 году был найден простой способ их получения, а через три года количество публикаций, посвященных изучению фуллеренов, в мире превысило тысячу в год (рис.3). Столь высокий интерес обусловлен необычными свойствами фуллеренов, открывающими широкие возможности их прикладного использования.

Мировой «фуллереновый бум» предопределил открытие УНТ: сначала многослойных (1991), а затем однослойных (1993). По уникальности свойств и потенциалу применений УНТ превосходят фуллерены, поэтому они сразу же привлекли широкий исследовательский интерес. Мировой поток публикаций по УНТ начал экспоненциально нарастать практически сразу после того, как в 1992 году их научились получать в граммовых количествах. В 2002 году этот поток превысил число публикаций по фуллеренам.

Следующей «точкой роста» в изучении новых форм углерода стало экспериментальное открытие в 2004 году графена – первого двумерного материала толщиной в один атом углеро-

да – возможной будущей основы нанoeлектроники (см. рис.3). Взрывной интерес к этому наноматериалу, даже на фоне двух его знаменитых предшественников, продемонстрирован на рис.4.

Участие в изучении углеродных наноструктур приняли более 90 стран. В число первых десяти лидеров по количеству публикаций входят или входили в разные годы индустриально развитые страны: США, Япония, Германия, Великобритания, Франция, Италия, Испания, азиатские «тигры»: Южная Корея, Тайвань, Сингапур. Впечатляющие результаты имеются у развивающихся гигантов: Китая и Индии.

Следует отметить, что Китай находится в лидирующей тройке по всем трем типам углеродных наноструктур, а с 2007 году по числу публикаций в области УНТ вообще занимает первое место. Ученые из Южной Кореи опубликовали свои первые работы по УНТ лишь в 1997 году, однако, уже в 2001 году они обошли Германию и вышли на четвертое место в мире. Значительный прогресс характерен также для Тайваня, поднявшегося в 2008 году на седьмое место. Индия переместилась из второй в первую десятку стран по количеству публикаций в рассматриваемой области. Примечателен стремительный скачок Ирана с 18-го места в 2007 году на 9-е место в 2009 году. Быстро сумел включиться в исследования по углеродным наноструктурам Сингапур.

По публикационной активности в области фуллеренов и УНТ Япония практически не покидала лидирующую тройку, а в области графена она на четвертом месте. Лидер этой гонки – США, которые с небольшими перерывами уступали первенство по фуллеренам Японии, а по УНТ – Китаю. Именно Соединенные Штаты практически первыми перенесли акцент с изучения фуллеренов на УНТ: в 2000 году число публикаций американских ученых по УНТ впервые превысило

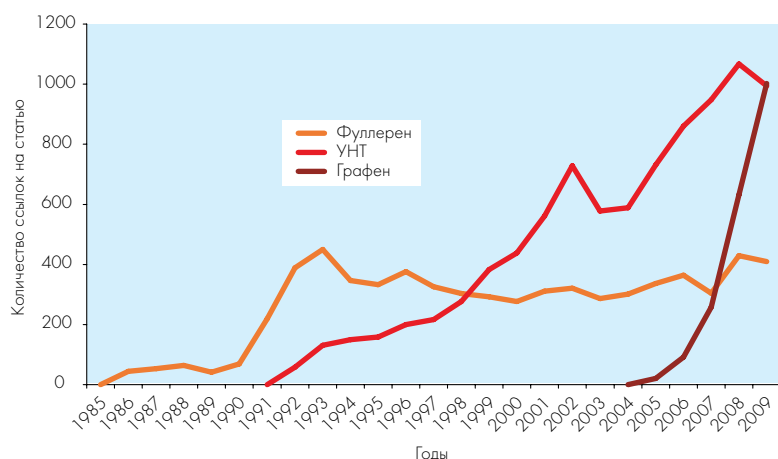


Рис.4. Цитируемость публикаций, сообщающих об открытии фуллерена [3], УНТ [4], графена [5]

этот показатель по фуллеренам, а в 2003 году разрыв был уже в разы. За США сразу устремился Китай. В настоящее время именно эти две страны наиболее активны и в изучении графена.

Несмотря на мощный «азиатский вал» публикаций в области углеродных наноструктур, средние показатели их воздействия по БД SCI-Expanded не столь впечатляющи, за исключением публикаций японских ученых по УНТ – «элитный пул» составляют статьи ученых из США и ряда европейских стран.

В поиске и изучении новых форм углерода советская и российская научные школы традиционно удерживали высокую планку и нередко достигали опережающих результатов. Однако не всегда они были замечены и вовремя поддержаны властями страны. Именно государственная поддержка исследований в области фуллеренов, каналами которой стали программное направление «Фуллерены и атомные кластеры» и гранты Российского фонда фундаментальных исследований, позволила России по количеству публикаций длительное время удерживать третье место, которое она лишь в 2005 году уступила Китаю. В исследования были вовлечены основные российские научные центры, значительный вклад внесли институты РАН, а также МГУ им. М.В.Ломоносова.

Важно отметить, что в сфере УНТ, которые стали «любимым дитя» государственной поддержки НТ, в мире наблюдалась интересная картина: именно с принятием рядом стран в начале 2000-х годов нанотехнологических инициатив начал резко нарастать мировой поток посвященных им публикаций (см. рис.3).

Опубликовав вслед за японцами первые работы по УНТ, Россия в дальнейшем упустила сдвиг мирового исследовательского тренда в их пользу и оказалась к 2009 году по количеству публикаций в этой области лишь на 14-м месте.

В Китае изучать УНТ начали позже, однако целенаправленная поддержка государства позволила ему резко нарастить исследовательские усилия в этой области и по количеству ежегодных публикаций выйти на первое место в мире.

Несмотря на то, что Россия – вторая (вслед за Великобританией) по среднему показателю цитируемости опубликованных работ (131.1) по графену, перспективы в этом направлении тоже далеко не ясны. Без опоры на достаточно широкую научную школу (Россия в 2009 году занимала лишь 11-е место в мире по количеству публикаций) это преимущество может прерваться в результате эмиграции одного – двух высокопродуктивных ученых.

Таким образом, хотя ряд российских работ в области углеродных наноструктур, выполненных в Институте элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова РАН, Физико-техническом институте (ФТИ) им. А.Ф.Иоффе РАН, ИПТМ РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова и др., имеют высокие показатели воздействия, поддерживать широкий фронт и темп исследований на уровне стран-лидеров Россия не в состоянии. Это сужает базу для патентоспособных изобретений, уменьшает возможность появления оригинальных отечественных разработок и патентно-чистых промышленных технологий. Не случайно, генеральный директор ГК «Роснанотех» А.Б.Чубайс, выступая на третьем Нанофоруме в Москве, признал, что в области углеродных наноструктур (фуллерены, УНТ, графен) особых результатов у нас нет. К сожалению, как хорошо понимают многие специалисты, его призыв к созданию промышленных нанотехнологий без развития и поддержки фундаментальных исследований трудно выполним.

Невозможность успешно конкурировать по широкому исследовательскому фронту, в частности, побуждает выявлять для приоритетной поддержки те направления, перспективы которых объективно обоснованы. На эту роль может претендовать, например, нанофотоника.

### Библиометрический взгляд на нанофотонику

Нанофотоника (фотонные кристаллы, метаматериалы, лазеры на квантовых точках, нанолазеры, плазмоника<sup>1</sup>) – относительно новое быстро растущее направление. Количество ежегодно публикуемых в мире работ по ней выросло с 1999 по 2009 год в 7,3, тогда как по НТ – в 5,4. По этому показателю Россия не опускалась за данный период ниже седьмого места. Относительно высо-

<sup>1</sup> Перечисленные термины, конечно, не охватывают весь тематический спектр нанофотоники.

кой средней цитируемостью публикаций по нанофотонике (14.3) страна в немалой степени обязана международному соавторству (примерно 54% публикаций), причем наиболее тесному с Германией (17%), США (13%) и Великобританией (7%). Развитию международных связей (Россия сотрудничает с 30-ю странами, включая все лидирующие) способствуют, в частности, работающие за рубежом наши бывшие соотечественники.

Если переходить на оценку результативности конкретных исследователей, то десять российских ученых входят в первую сотню наиболее продуктивных в этой области авторов. Пять из них представляют ФТИ РАН, четыре – Международный лазерный центр (МЛЦ) МГУ им. М. В. Ломоносова, один – Центр фотохимии РАН. Наибольшее в мире количество публикаций (155) у А.Желтикова из МЛЦ МГУ. Лучшие показатели цитируемости среди ведущей российской десятки авторов за весь период имеет Н.Леденцов из ФТИ РАН (среднее количество ссылок на одну публикацию – 32,6, индекс Хирша – 24). Обнадешивает то, что у обоих ведущих центров отечественной нанофотоники имеется хороший базис для эффективной кадровой подпитки исследований. Это научно-образовательный центр НТ ФТИ РАН и физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова.

В целом, наиболее активно работы по нанофотонике ведутся в РАН (62% публикаций). Далее следуют МГУ (37%) и Государственный оптический институт им. С.И.Вавилова (3%). Среди мировых организаций по количеству публикаций РАН уступает лишь Академии наук Китая, значительно превосходя ее по показателю средней цитируемости.

В последнее время «горячей темой» становятся метаматериалы – отсутствующие в природе искусственные среды с уникальными электромагнитными свойствами. Применение по-

добных метаматериалов, например, в трансформационной оптике способно привести к перевороту в разных областях науки и техники. Не случайно метаматериалы, наряду с УНТ, включены в десять высших достижений материаловедения за последние 50 лет [6].

В России исследования по метаматериалам проводятся, и две работы, выполненные сотрудниками Института физики микроструктур (ИФМ РАН) и Института спектроскопии РАН имеют свыше 100 цитирований. Показатель средней цитируемости российских публикаций по метаматериалам (21,6) превосходит мировой (20,7). Среди наиболее активных российских авторов: М.Горкунов (Институт кристаллографии им. А. В.Шубникова РАН), А.Жаров (ИФМ РАН), А.Лагарьков (Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН), С.Мысливец (Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН). Таким образом, существуют перспективные направления НТ, в которых у России, согласно библиометрическим показателям и кадровому обеспечению, имеются вполне неплохие позиции.

Хотелось бы отметить следующее: чтобы адекватно понимать глобальные процессы развития НТ, оценивать позиции и возможности разных стран в мировой нанотехнологической гонке, правильно выработать собственную стратегию, необходимы систематически организованные наукометрические исследования, включающие, в том числе и библиометрический мониторинг.

В целом выполненный анализ показал: российской науке даже в трудные 1990-е годы до определенного момента удавалось увеличивать свой вклад в мировой научный выход в области НТ, а минимальная государственная поддержка такого направления, как "фуллерены", позволяет до сих пор сохранять конкурентоспособность в этой области на стадии фундаментальных исследова-

ний. Неплохие возможности у России существуют в нанофотонике, графеновой проблематике.

К сожалению, Россия не была среди первых стран, осознавших потенциал НТ и организовавших ее приоритетное финансирование на государственном уровне. Опоздание на 5–7 лет ослабило, как показывают библиометрические рейтинги, конкурентные позиции страны. Перелома ситуации не произошло и в связи с массивным ростом инвестиций в НТ с 2007 года – по количеству публикаций в области нано в БД SCI-Expanded на октябрь 2010 года Россия на 12-м месте. Сможет ли она в дальнейшем перейти к ускоренному наращиванию фундаментальной научной базы – зависит от того, насколько успешно будет преодолена кадровая проблема и правильно настроены механизмы финансирования НТ.

### Литература

1. **Can Huang, Ad Notten, Nico Rasters.** Nanotechnology publications and patents: A review of social science studies and search strategies. UNU-MERIT Working Paper Series. 2008–58.
2. **Зибарева И.В., Зибарев А.В., Бузник В.М.** Российская наноаука: библиометрический анализ на основе баз данных STN International. – Химия в интересах устойчивого развития, 2010, т. 18, № 2, с.215–227.
3. **Kroto H.W., Curl R.F., Smalley R.E. et al.** C-60 Buckminsterfullerene – Nature, 1985, v. 318, Issue 6042, p. 162–163.
4. **Iijima S.** Helical microtubules of graphitic carbon. – Nature, 1991, v. 354, Issue 6348, p. 56–58.
5. **Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V. et al.** Electric field effect in atomically thin carbon films. – Science, 2004, v. 306, Issue 5296, p. 666–669.
6. **Wood J.** The top ten advances in materials science. – Materials Today, 2008, v. 11, № 1–2, p. 40–45.