

**ФИКСИРУЕМ ТЕНДЕНЦИЮ**

# **МЕСТО РОССИИ В МЕНЯЮЩЕМСЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЛАНДШАФТЕ\***

**АЛЕКСАНДР ТЕРЕХОВ**

Центральный экономико–математический институт РАН, Москва, Россия

---

## **Резюме**

Развитие нанотехнологий – первая глобальная научно-технологическая инициатива XXI века, привлекающая значительный исследовательский, экономический и политический интерес. Правительства многих стран, видя в нанотехнологиях источник преобразующих инноваций (воздействие которых может возрасти через конвергенцию с био- и инфокогнитивными технологиями), приняли национальные исследовательские программы. Существенное значение, которое нанотехнологии имеют для построения экономики, основанной на знаниях, привлекло к ним внимание представителей общественных дисциплин. Нано-библиометрия, возникшая на Западе в конце 1990-х годов, превратилась в 2000-х годах в быстрорастущую область активной деятельности исследователей, аналитических центров и правительственных организаций, а межстрановые сопоставления стали одной из ее важных тем. В статье представлен сравнительный анализ публикационной активности России и ряда других активных в области нано-исследований стран в период 2000–2014 гг. на основании данных (около 570 тыс. публикаций), полученных из базы данных *Science Citation Index Expanded*. В числе анализируемых – такие библиометрические индикаторы, как публикационный выход, цитируемость и соавторские связи.

Согласно полученным выводам, несмотря на спад ажиотажа, объем исследований в сфере нанотехнологий продолжает нарастать. В силу неравномерности этот рост сопровождается значительными изменениями мирового нанотехнологического ландшафта, иллюстрацией которого служит сдвиг центра мировых исследований в азиатский регион. Ведущие западные игроки все больше уступают азиатским странам как в объеме, так и научном влиянии производимых исследований. В частности, США утратили свое лидерство под натиском Китая и Сингапура, Южная Корея все активнее наступает на позиции Германии, а поздно стартовавший Иран занял к 2014 г. пятое место по публикационному выходу. Россия на этом фоне не смогла достигнуть поставленной цели вхождения в число мировых нанотехнологических лидеров. Промежуточные итоги российской нанотехнологической политики рассматриваются в статье в контексте завершения «Программы развития nanoиндустрии в РФ до 2015 года».

## **Ключевые слова:**

нанотехнологии; библиометрический анализ; межстрановые сопоставления; Россия.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-06-00009).

Для связи с автором / *Corresponding author:*  
Email: alex.i.terekhov@gmail.com

Развитие нанотехнологий<sup>1</sup> – важнейший научно-технологический тренд начала XXI столетия. Если ранее оно происходило в конкуренции с другими научно-технологическими областями, то после 2000 г. многие страны, вслед за США, приняли инициативы, предполагавшие приоритетизацию нанотехнологий на государственном уровне. В 2010-х годах становится все более очевидно, что реализация первоначально связываемых с этой сферой научно-технологического развития экономических ожиданий потребует значительных временных затрат.

По мере истечения срока действия ранее принятых инициатив и возвращения к финансированию разработок в сфере нанотехнологий через традиционные каналы научно-технологической политики ряд развитых стран пошел на отказ от отдельных координируемых на государственном уровне проектов [PCAST 2014]. В частности, ассигнования в соответствии с Национальной нанотехнологической инициативой (ННИ) США сократились в 2015 г. по сравнению с 2010 г. на 22%; Япония с 2011 г. перестала рассматривать НТ как целевую область, объединив ее с более масштабным планом финансирования. Между тем ЕС в 2009 г. приступил к выявлению, а в 2012 г. – уже и к разработке европейской стратегии развития и применения ключевых технологий, открывающих новые возможности. В их перечень, наряду с нанотехнологиями, включены также промышленная биотехнология, перспективные материалы, фотоника и другие области исследований<sup>2</sup>.

Россия, исторически обладавшая внушительными работками в сфере нанотехнологий [Alferov 1996; Petrunin 1997; Terekhov 2015], приняла собственную пре-

зидентскую инициативу «Стратегия развития nanoиндустрии» лишь в 2007 г. Инструментом ее реализации, рассчитанным на среднесрочный период, стала «Программа развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года» (далее – Программа-2015) с бюджетом в 318 млрд рублей<sup>3</sup>. Согласно оценкам Совета при президенте США по науке и технологиям [PCAST 2008: 22], по размеру национальных инвестиций в эту область в 2012 г. Россия была третьей в мире после США и Японии. Вкладывая столь значительные средства, правительство стремилось превратить страну в один из мировых нанотехнологических лидеров уже в среднесрочной перспективе.

Развитие нанотехнологий тесно завязано на фундаментальные и прикладные научные исследования: не случайно широкое распространение в 2000-х гг. приобрела нано-библиометрия, оценивающая публикационную активность учёных, работающих в этой области. Одну из приоритетных тем соответствующих разработок составили межстрановые сопоставления [Guan and Ma 2007; Youtie et al. 2008; Kostoff 2012; Bajwa et al. 2012; Bhattacharya et al. 2012; Gorjiara and Baldock 2014]. В силу динамичного развития и расширения нано-исследований подобные работы нуждаются в регулярной актуализации, уточнениях и большей детализации в отношении отдельных стран.

С целью выявления наиболее важных изменений в международном нанотехнологическом ландшафте и позиционирования в нем России был проведен сопоставительный анализ 12 стран. Для анализа (кроме России) были выбраны пять развитых государств, неизменно входивших в число ведущих нанотехнологических держав (США, Япония, Германия, Франция и Велико-

<sup>1</sup>Мы используем в статье этот термин как объединяющий нано науку и собственно нанотехнологии (подробнее о тонкостях определений см. [Алфимов и др. 2010]).

<sup>2</sup>A European Strategy for Key Enabling Technologies – A Bridge to Growth and Jobs. European Commission. Brussels, Belgium, 2012. 18 p. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0341:FIN:EN:PDF>

<sup>3</sup>Правительство Российской Федерации. Программа развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года. Постановление № В3-П7-2702 от 4 мая 2008 г. URL: [http://www.portalnano.ru/read/documents/met/mon-sm-538\\_16\\_16072010/program\\_2015](http://www.portalnano.ru/read/documents/met/mon-sm-538_16_16072010/program_2015)

британия); два восходящих азиатских гиганта (Китай и Индия); три высокотехнологичные страны меньшего размера (Южная Корея, Сингапур и Тайвань); а также быстро развивающийся в последние годы Иран. В отдельные сопоставления были включены также ЕС-28, условный блок стран «Азия-7» (Индия, Иран, Китай, Сингапур, Тайвань, Южная Корея и Япония), страны БРИКС. С учетом продолжительного опыта проведения nanoисследований пять западных стран и Россия были отнесены к «старожилам», а остальные шесть стран – к «новичкам».

На основании исходной выборки публикаций (около 570 тыс. статей, обзоров, писем) из наиболее авторитетной в мире политематической базы данных Science Citation Index Expanded (БД SCIE) за период 2000–2014 годов, сформированной на основании релевантных ключевых слов, были проанализированы объем и цитируемость производимых работ, объем статей, выполненных в рамках международного сотрудничества авторов.

1

Общий количественный анализ числа публикаций (см. Рис. 1) свидетельствует о том, что сфера нанотехнологий по-прежнему остается одной из наиболее быстрорастущих областей глобальных исследований в мире со среднегодовым темпом роста в 12% с 2007 по 2014 г. При этом за рассматриваемый период произошла смена лидера: Китай в 2009 г. прервал доминирование США по объему публикаций, а в 2011 г. обошел по этому показателю и ЕС-28. Смещение центра nano-исследований подтверждается тем обстоятельством, что в 2014 г. доля группы «Азия-7» в мировом выходе публикаций по этой тематике достигла 60%, причем локомотивами такого сдвига стали Китай, Индия и Иран.

В рассматриваемый период страны-старожилы зафиксировали меньшую динамику в сравнении с новичками, продемонстрировавшими прирост публикаций в сфере нанотехнологий с темпом выше среднемирового (см. Табл. 1, столбец 2). При этом для всех рассматриваемых стран

Рисунок 1  
Рост выхода nano-публикаций: в мире и по странам/группам стран

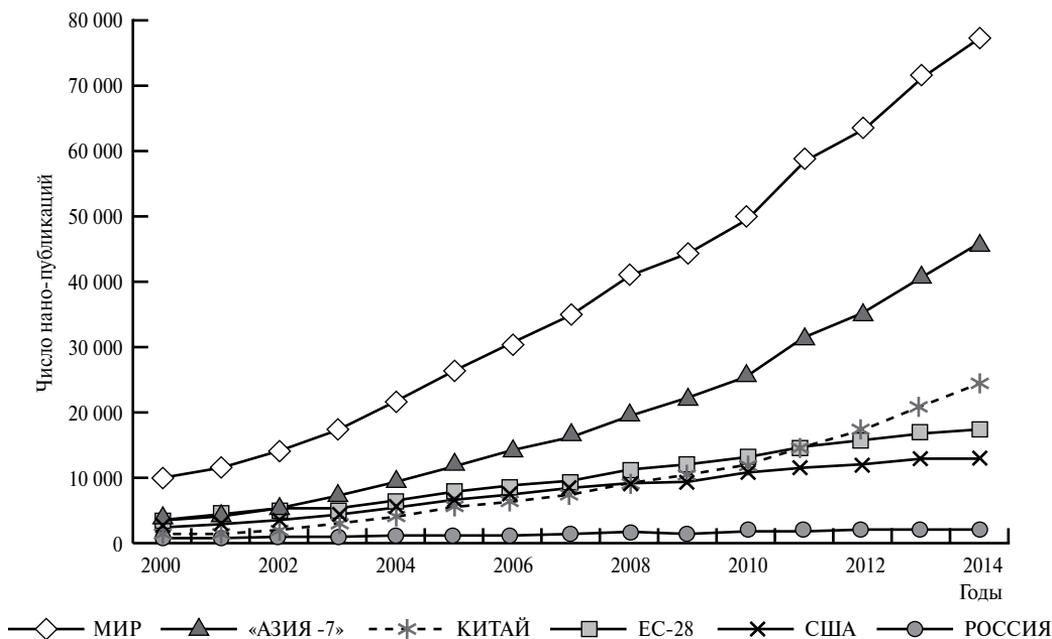


Таблица 1

Относительные показатели и ранжирование выбранных стран по производству nano-публикаций за 2000–2014 годы

Страна	Относительные показатели			
	Показатель относительного роста	Доля nano-публикаций в общем публикационном выходе страны	Конкурентная доля в мировом выходе nano-публикаций	Ранг страны по производству nano-публикаций
США	0.80	1.0 ↑ 3.6 <sup>б</sup>	24.7 ↓ 16.7	1 ↓ 2
Япония	0.43	2.2 ↑ 5.1	16.2 ↓ 5.2	2 ↓ 7
Германия	0.55	1.9 ↑ 4.1	12.7 ↓ 5.3	3 ↓ 6
Франция	0.62	1.5 ↑ 4.0	7.6 ↓ 3.7	5 ↓ 8
Великобритания	0.68	0.9 ↑ 2.7	6.4 ↓ 3.5	7 ↓ 9
Россия	0.52	2.6 ↑ 7.0	7.1 ↓ 2.8	6 ↓ 12
Китай	1.52	4.1 ↑ 9.6	12.3 ↑ 31.7	4 ↑ 1
Индия	1.79	1.1 ↑ 10.6	2.0 ↑ 8.2	14 ↑ 3
Южная Корея	1.50	2.0 ↑ 10.2	2.9 ↑ 7.1	9 ↑ 4
Иран	3.65 <sup>а</sup>	0.2 ↑ 16.5	0.0 ↑ 5.9	68 ↑ 5
Тайвань	1.34	1.4 ↑ 7.9	1.4 ↑ 2.7	20 ↑ 13
Сингапур	1.37	2.6 ↑ 12.6	1.0 ↑ 1.9	22 ↑ 16

Примечание: а) Из-за нулевой базы в 2000 г. показатель для Ирана был рассчитан за период 2007–2014 годов.

б) Стрелка показывает рост или уменьшение соответствующего показателя между 2000 и 2014 г.

характерно увеличение доли nano-исследований в общем публикационном выходе (см. Табл.1, столбец 3), что может свидетельствовать как об их растущем проникновении в различные дисциплины, так и о целенаправленной концентрации усилий ученых на развитии данного направления. Разница в темпах роста привела к существенному изменению положения стран в рейтинге по производству публикаций, связанных с нанотехнологиями, причем потери понесли все старожилы (см. Табл. 1, столбцы 4 и 5). В ближайшие годы сохранение лидерства Китая неоспоримо, поскольку по вкладу в публикационную активность он опережает идущие на втором месте США на 15 процентных пунктов (п.п.).

В 1990-х годах, несмотря на социально-экономические трудности, Россия продолжала наращивать свой вклад в мировую копилку публикаций по nano-тематике (см. Рис. 2). Однако 1998 г. ознаменовал перелом в указанном тренде, положив начало снижению ее конкурентоспособности в интенсифицирующейся научной гонке. Падение не смогло остановить даже приня-

тие многомиллиардной Программы-2015, поскольку к этому моменту основным лимитирующим фактором стали уже не финансы, а состояние исследовательских кадров [Терехов 2011].

Несмотря на стимулирующие меры со стороны правительства страны, среднегодовой темп роста числа отечественных публикаций снизился с 10,2% в 2000–2007 гг. до 6,3% в 2007–2014 гг. Серьезные внутренние проблемы, а также подъем азиатских конкурентов, активно развивающих исследования в рассматриваемой области, привели к тому, что в 2011 г. Россия выбыла из десятки наиболее продуктивных стран. При сложившейся динамике мирового соперничества долевой показатель в 4% (целевой индикатор Программы-2015) оказался также недостижимым (Рис. 2).

2

Более значимым показателем влияния в научной сфере выступает производство публикаций с высоким уровнем цитируемости, а не просто производство большего числа публикаций. Статьи из предложенной выборки на момент проведения анали-

за (сентябрь 2015 г.) были процитированы свыше 13 млн раз. 37,3% всех цитат пришлось на статьи из США, 19,3% – Китая. Среди двенадцати рассматриваемых стран Россия с 1,9% опережает по этому показателю только Иран (1,3%).

На протяжении изучаемого периода цитируемость выше среднемировой имели публикации по нано-тематике из США, Великобритании, Германии, Сингапура и

Китая. Вместе с тем в 2010-х годах Соединенные Штаты и Великобритания заметно теряли свои позиции, тогда как КНР и особенно интенсивно Сингапур продолжали повышать научное влияние в сфере нано-исследований по относительной цитируемости. Если Германия, Франция и Япония (страны-старожилы) в целом лишь сохраняют свои позиции, то Южная Корея, постепенно наращивая успех, продемон-

Рисунок 2

Изменение доли российских нано-публикаций в мировом выходе и в общем массиве российских публикаций в БД SCIE

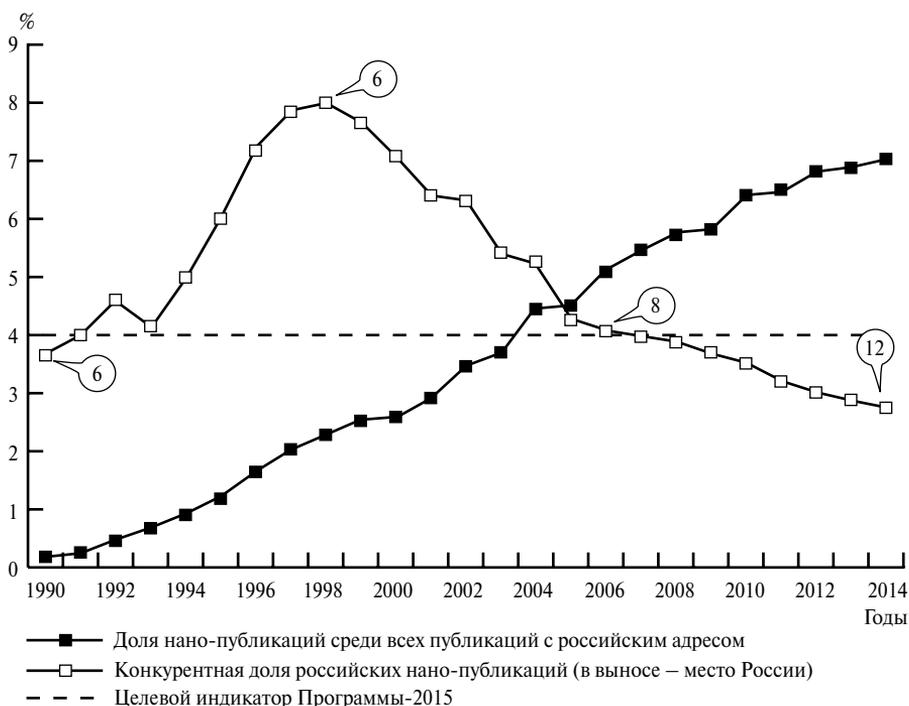


Таблица 2

Вклад стран в высоко цитируемые нано-публикации, 2000–2013

Страна	Доля нано-публикаций в		Страна	Доля нано-публикаций в	
	топ-10% сегменте	топ-1% сегменте		топ-10% сегменте	топ-1% сегменте
США	38.6	51.8	Китай	25.1	21.9
Германия	8.1	7.9	Южная Корея	5.8	5.5
Япония	6.0	4.4	Сингапур	3.6	4.6
Великобритания	5.2	6.5	Индия	3.5	1.8
Франция	4.3	3.6	Тайвань	2.2	1.2
Россия	0.8	0.9	Иран	1.4	0.7

Рисунок 3  
Сравнение стран по их доле в топ-1% сегменте nano-публикаций

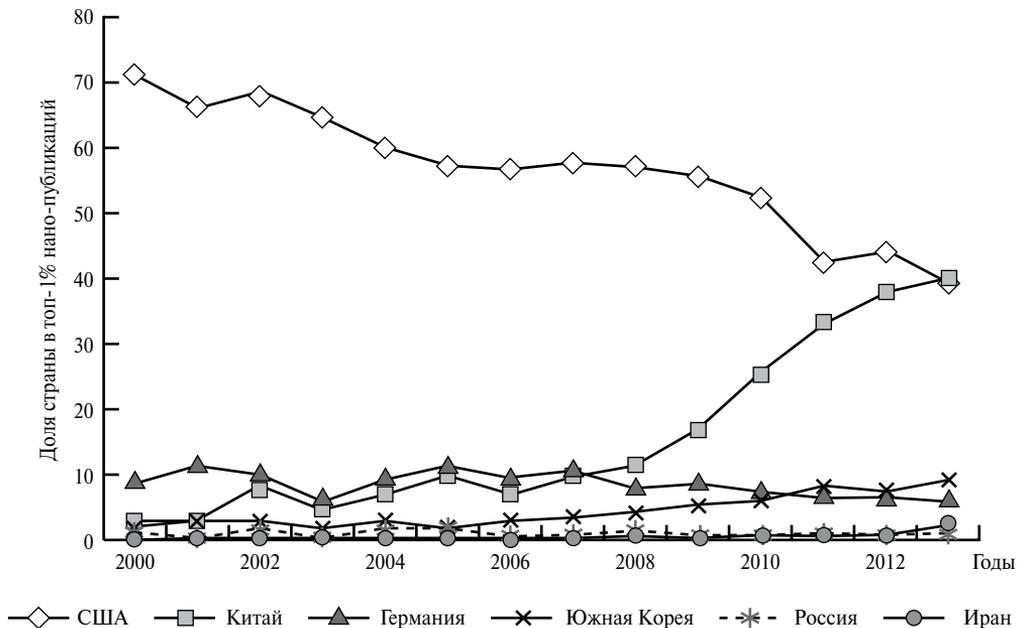
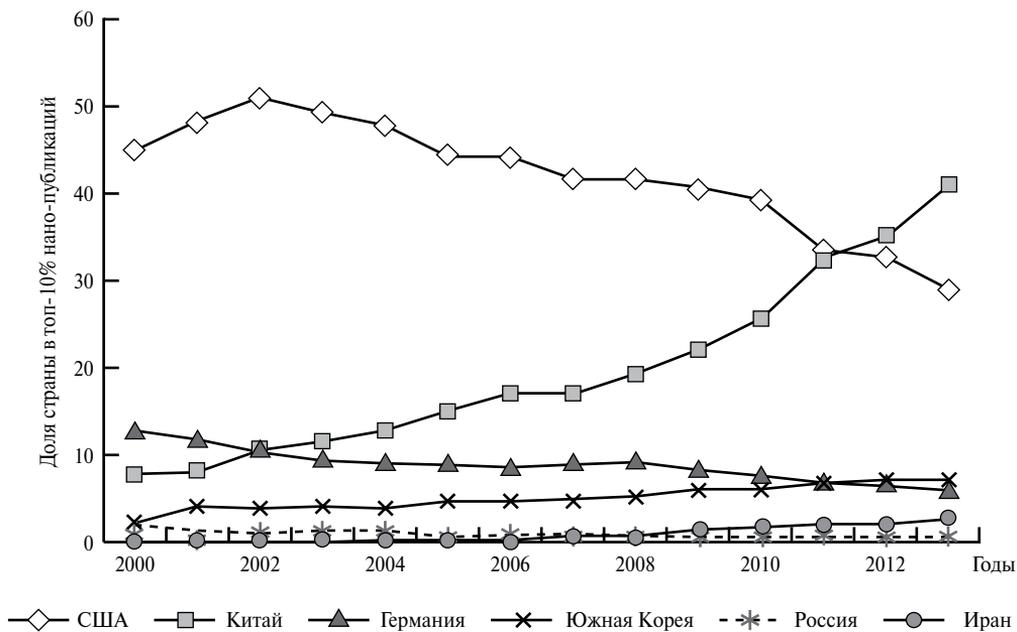


Рисунок 4  
Сравнение стран по их доле в топ-10% сегменте nano-публикаций



стрировала к 2013 г. показатели среднемирового уровня. Среди рассматриваемых стран российские нано-публикации имели самые низкие показатели цитируемости, хотя за последние три года и регистрируется зарождающийся подъем в этой области.

Важным показателем вклада страны в развитие исследований принято считать публикации ее ученых в наиболее престижных научных изданиях, относимых к топ-1% и топ-10% наиболее цитируемых работ. Таблица 2 (подсчет цитирования по состоянию на 15 сентября 2015 г.) показывает, что нано-публикации США в указанных сегментах суммарно за весь период значительно превосходят другие страны. Вместе с тем в последние годы страны-новички начинают обгонять старожилов и по этому показателю. Например, Китай опередил США, Южная Корея – Германию, Иран – Россию (см. Рис. 3 и 4). Сингапур, имеющий наименьшую долю в мировом объеме публикаций по нано-тематике среди рассматриваемых стран, в последние годы последовательно опередил Францию, Японию и Великобританию по вкладу в их наиболее цитируемую часть.

Поскольку масштабы национальных исследовательских систем сильно различаются, при их сравнении необходимо учитывать не только реальные показатели высокоцитируемых публикаций, но и ожидаемые. В библиометрии для этого используют пропорцию публикаций, например, в топ-10% сегменте (ПП<sub>Топ-10%</sub>) и сравнивают ее наблюдаемые значения для каждой страны со значением сегмента (в данном случае – 10%) [Tijssen et al. 2002]. Если такое соотношение (индекс высокоцитируемых публикаций: ИВЦП<sub>Топ-10%</sub> = (Н/О) = ПП<sub>Топ-10%</sub>:10) больше 1, то результаты данной страны как производителя высокоцитируемых статей лучше ожидаемых, если меньше, то хуже. Процедура аналогична и для сегмента топ-1% для получения индекса ИВЦП<sub>Топ-1%</sub>.

Представленные индексы позволяют более адекватно сопоставлять показатели сравниваемых стран. В соответствии с ними Сингапур, США, Великобритания, Китай,

Южная Корея и Германия демонстрируют результаты лучше среднемировых в производстве значимых нано-публикаций, а Япония, Франция, Тайвань, Индия, Россия и Иран – напротив, хуже (см. Рис. 5). Более того, реальный вклад Сингапура, США и Великобритании в топ-1% сегмент публикаций по нано-тематике превышает ожидаемый уровень больше, нежели их аналогичный вклад в сегмент топ-10%, что увеличивает вероятность превращения работ авторов из этих стран в наиболее цитируемые уже в среде высокоцитируемых. С 2011 г. Сингапур стал наиболее продуктивным поставщиком значимых высокоцитируемых нано-публикаций. По показателю ИВЦП<sub>Топ-1%</sub> Россия несколько опережает Иран, демонстрируя небольшую положительную динамику в 2010-х годах.

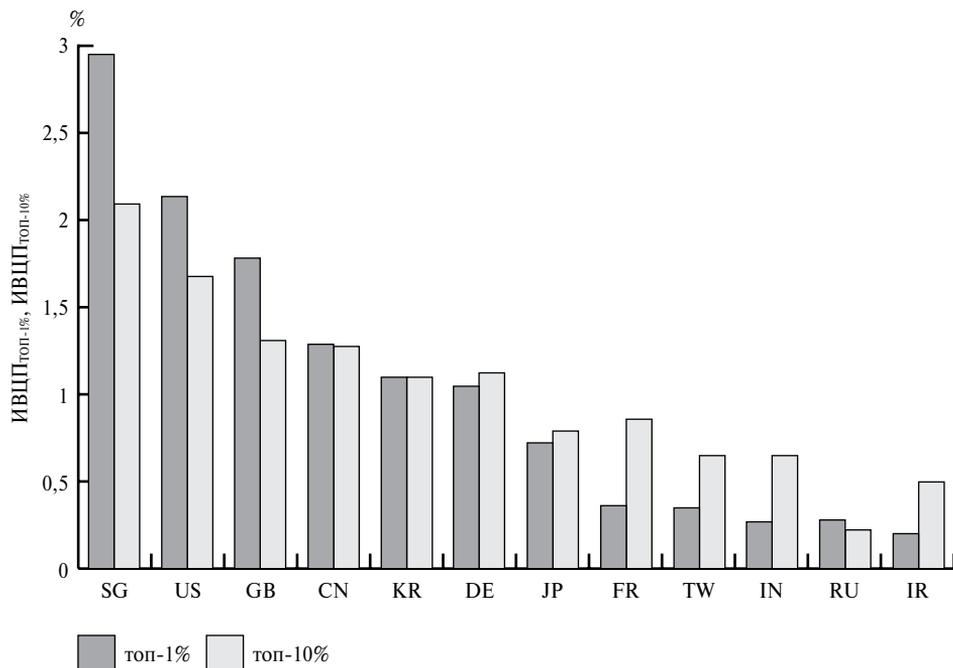
Опираясь на библиометрические показатели, можно констатировать существенные изменения в международном нанотехнологическом ландшафте, которые можно охарактеризовать как наступление новых азиатских центров на позиции развитых стран и России. Полученные выводы нельзя абсолютизировать, поскольку цитируемость – лишь косвенный показатель качества исследований. На ее увеличение может влиять, например, массовый рост публикаций (чем больше работ публикуется по данной тематике, тем выше вероятность быть процитированной для конкретной статьи). Однако зарегистрированные тренды весьма симптоматичны.

Проведенный анализ свидетельствует, что Россия оказалась далеко не на передовых позициях. Тематическое поле публикаций, относимых к топ-10% сегменту, можно использовать для выявления конкурентоспособных научных направлений. Всего 413 российских публикаций по нано-тематике вошли в этот элитный сегмент в 2000–2013 гг. Из 265 работ, опубликованных в 2007–2013 гг., 26% посвящены графену, 18% – нанобиомедицине и 14% – нанофотонике.

История открытия графена и участие российских ученых в освоении этой сверхактуальной в последнее десятилетие тема-

Рисунок 5

Отношение наблюдаемых к ожидаемым значениям (Н/О) в сегментах элитных нано-публикаций для 12 стран в 2011 г.



Примечание: в нижней строке использованы стандартные коды стран: SG – Сингапур; US – США; GB – Великобритания; CN – Китай; KR – Южная Корея; DE – Германия; JP – Япония; FR – Франция; TW – Тайвань; IN – Индия; RU – Россия; IR – Иран.

тики многократно описаны (см., например, [Terexhov 2015]). Сотрудничество Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН с Манчестерским университетом (Великобритания) – признанным мировым центром в изучении графена – обеспечило наибольший вклад российских тематических публикаций в топ-1% и топ-10% сегменты нанотехнологической литературы. Российские высокоцитируемые публикации в области нанофотоники (ИТМО – Университет) и нанобиомедицины (МГУ) стали следствием работы исследователей в рамках двух правительственных мегагрантов, выигранных бывшими соотечественниками из Австралийского национального университета и Университета Небраски (США). Как и в случае с графеном, указанные исследования оказались плодом сотрудничества зарубежных ученых

с наиболее яркими представителями российской науки.

Среди работ из топ-10% сегмента, опубликованных исключительно российскими авторскими коллективами, 12 работ по нанобиомедицине выполнены в Институте биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН и Саратовском государственном университете. Две из них о биомедицинских приложениях наночастиц золота вошли в высший топ-1% сегмент публикаций. В ряде работ, подготовленных в рамках международных авторских коллективов, участвуют другие отечественные академические институты и медицинские учреждения.

Широкое международное признание получил ряд высокоцитируемых публикаций о наноструктурных материалах, получаемых путем интенсивной пластической

деформации (Уфимский государственный авиационный технический университет) или гибридации (Институт физики твердого тела РАН), в которых российские ученые выступали в ведущей роли. Достигнув устойчивой критической массы ресурсов и квалифицированных исследователей, данная коллаборация могла бы претендовать на роль самостоятельного центра научного превосходства (*centre of scientific excellence*) международного уровня.

Вместе с тем проведенный библиометрический анализ указывает на ограниченное участие России в высшей международной лиге исследований в сфере нанотехнологий. На данном этапе еще не ясно, дадут ли устойчивый эффект попытки его расширения за счет привлечения бывших российских ученых, добившихся успеха на Западе.

### Э

Международная кооперация стала важной чертой современной науки. В сфере нано-исследований самые высокие показатели вовлеченности в транснациональные научные связи у Великобритании, Франции и Германии: свыше 57% публикаций специалистов из этих стран имеют международное соавторство. Существенно ниже они у азиатских стран (за исключением Сингапура): от 16% у Ирана до 30% у Японии. Сингапур с 48% следует за тремя европейскими странами. Степень интернационализации российских нано-исследований достаточно высока – 41% публикаций с международным соавторством в 2000–2014 гг. Наиболее тесно Россия сотрудничала с Германией (10,9% российских публикаций), США (7,5%), Францией (4,6%) и Великобританией (2,8%). Между тем всего 1,2 и 0,2% публикаций были написаны в соавторстве с учеными из Китая и Индии. Среди бывших советских республик российские специалисты имели наиболее тесные связи с учеными из Украины (2,1% совместных нано публикаций) и Беларуси (1,5%).

Проведенное сопоставление демонстрирует постепенную, пусть и не интенсивную, перестройку структуры международ-

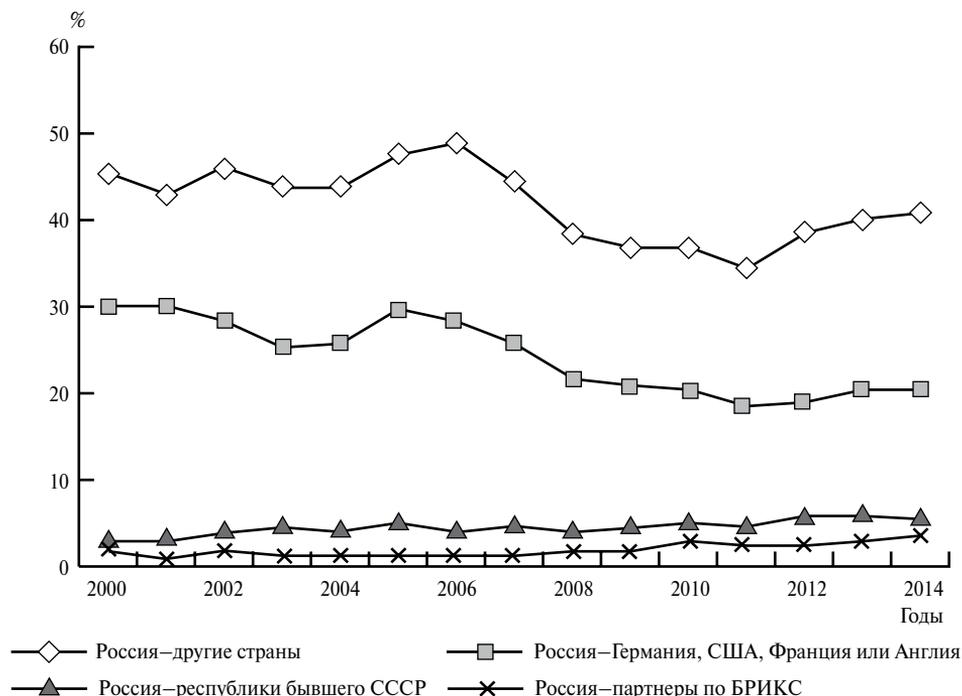
ного сотрудничества России в исследованиях по нано-тематике. На фоне общего снижения интенсивности международных связей с 2006 г. доля российского сотрудничества с четверкой ведущих западных стран уменьшилась на 8 п.п. в 2007–2014 гг. по сравнению с предыдущими годами, тогда как доля сотрудничества с бывшими советскими республиками и партнерами России по БРИКС, напротив, выросла на 4,4 и 3,6 п.п. соответственно (см. Рис. 6). Тем не менее более тесные научные связи России с западными странами имеют исторические корни и в значительной степени опираются на проживающую там российскую научную диаспору. В этой связи их оперативное замещение аналогичными связями, например на азиатском направлении, представляется проблематичным.

Международное сотрудничество играет для России важную роль не только с точки зрения обмена передовыми научными знаниями, но и для повышения заметности отечественных достижений в нано-исследованиях. Международное соавторство повышает цитируемость российских работ в среднем в 3,2 раза (для сравнения: китайских в 1,5, а индийских в 1,2 раза), повышая и вероятность их превращения в высокоцитируемые (если среди всех публикаций доля соавторских – 41%, то среди высокоцитируемых – уже 85%). В этой связи соавторство с западными учеными намного более плодотворно, нежели с партнерами из стран БРИКС или бывших советских республик. Отсюда, в частности, следует, что отмеченные изменения в структуре сотрудничества могут привести к снижению прироста цитирования в будущем.

\* \* \*

Несмотря на спад ажиотажа, присутствовавшего в первом десятилетии XXI века, исследования по нано-тематике продолжают демонстрировать рост. При этом происходят значительные изменения мирового научного ландшафта, выражающиеся в первую очередь в перемещении центра исследований в азиатский регион.

Рисунок 6  
Доля российских нано-публикаций с международным соавторством



Ведущие западные игроки все больше уступают азиатским странам как в объеме, так и научном влиянии публикуемых работ. США утратили свое абсолютное лидерство в изучении нано-тематики, Южная Корея все активнее теснит позиции Германии, а поздно стартовавший Иран занял к 2014 г. уже пятое место по публикационному потоку.

Реализуемая в России Программа-2015 смогла в лучшем случае лишь замедлить, но не развернуть тренд по снижению российского вклада в мировой публикационный пул. За время ее реализации не удалось мобилизовать резервы для ускоренного роста числа исследований. Напротив, по сравнению с предшествующим периодом темп прироста производства публикаций по нано-тематике снизился на 4 п.п. По научному влиянию (средней цитируемости и доле в мировом пуле высокоцитируемых нано-публикаций) Россия отстаёт еще

больше, проигрывая соперничество даже поздно стартовавшему Ирану. Она способна поддерживать международную конкурентоспособность лишь по ряду направлений развития нанотехнологий. При этом подавляющее большинство высокоцитируемых публикаций выполняются в условиях международной кооперации, а меняющийся ландшафт требует модернизации структур такого сотрудничества.

С 2000 г. мировой объем государственных вложений в нанотехнологии достиг 100 млрд долларов – показатель недостижимый для других научно-технологических областей как по размеру, так и по скорости инвестирования. Стремясь участвовать в глобальном нанотехнологическом проекте, потенциально сулящем огромные выгоды, национальные правительства руководствовались разным видением проблематики и по-разному расставляли акценты в своих программах. В част-

ности, основные причины для запуска соответствующей инициативы в США состояли в том, чтобы «заполнить важные провалы в фундаментальных знаниях о матери и стремиться к новым и экономически востребованным приложениям, ожидаемым от нанотехнологий» [Roco 2011: 428]. В результате инвестиции в Национальную нанотехнологическую инициативу США с момента ее принятия были сфокусированы на фундаментальных исследованиях (не менее 30% от общего объема вложений) [CRS 2008]. Такой подход заложил солидную основу для создания на следующем этапе её развития большего числа новых коммерческих продуктов 2-го и 3-го поколений в отличие от пассивных наноструктур, представляющих 1-е поколение. Тем самым был подготовлен переход к Национальной нанотехнологической инициативе 2.0: «...от инициативы, базирующейся на фундаментальных исследованиях, к инициативе, делающей также необходимый фокус на обеспечение быстрой коммерциализации нанотехнологий» [PCAST 2014: 2].

Исходя из иной логики была выстроена отечественная Программа-2015, в которой акцент изначально был сделан на коммерциализации прикладных результатов и уско-

ренном создании nanoиндустрии. На фундаментальные исследования в России предназначалось не более 6% программных инвестиций, что с учетом предшествующего десятилетнего падения вклада России в мировую науку представляется недостаточным. Как и следовало ожидать, имеющиеся научные заделы были быстро исчерпаны, а исследовательская база для производства новых разработок – значительно ослаблена. На этом фоне выручка отечественной nanoиндустрии в 2015 г. (около 1,27 трлн рублей)<sup>4</sup> оказалась ниже целевого показателя Программы-2015 в 3% от мирового нанотехнологического рынка (объем которого превысил 1,6 трлн долларов в 2015 г. [Lux Research 2015]). В условиях научного отставания установленная планка вряд ли достижима и в обозримой перспективе, поскольку уже к 2018 г. – по прогнозным расчетам [PCAST 2014] – 3% станут эквивалентны 132 млрд долларов. В этой связи на третьем этапе реализации Стратегии развития nanoиндустрии, стержнем которого должно стать опережающее развитие принципиально новых направлений в области нанотехнологий, необходимо уделять повышенное внимание роли фундаментальной науки и анализу уже допущенных просчетов.

## Список литературы

- Алфимов М.В., Гохберг Л.М., Фурсов К.С. Нанотехнологии: определения и классификация // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. № 7–8. С. 8–15.
- Терехов А.И. Обеспечение кадрами приоритетных научных направлений (на примере нанотехнологий) // Вестник РАН. 2011. Т. 81. № 1. С. 11–17.
- Alferov Z.I. The History and Future of Semiconductor Heterostructures from the Point of View of a Russian Scientist // *Physica Scripta*. 1996. Т. 68. P. 32–45.
- Bajwa R.S., Yaldram K., Hussain S.S., Ahmed T. Nanotechnology Research among Some Leading OIC Member States // *Journal of Nanoparticle Research*. 2012. Vol. 14. No. 9. P. 1–10.
- Bhattacharya S., Shilpa, Bhati M. China and India: The Two New Players in the Nanotechnology Race // *Scientometrics*. 2012. Vol. 93. No. 1. P. 59–87.
- Sargent J.F. Nanotechnology and U.S. Competitiveness: Issues and Options. Congressional Research Service. Washington, DC. 2008. 27 p. URL: [www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34493.pdf](http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34493.pdf)
- Gorjiara, T., Baldock, C. Nanoscience and Nanotechnology Research Publications: A Comparison Between Australia and the Rest Of The World // *Scientometrics*. 2014. Vol. 100. No. 1. P. 121–148.
- Guan J., Ma N. China's Emerging Presence in Nanoscience and Nanotechnology: A Comparative Bibliometric Study of Several Nanoscience 'Giants' // *Research Policy*. 2007. Vol. 36. No. 6. P. 880–886.
- Kostoff R.N. China/USA Nanotechnology Research Output Comparison– 2011 Update // *Technological Forecasting and Social Change*. 2012. Vol. 79. No. 5. P. 986–990.

<sup>4</sup> Чубайс А.Б. Обращение к V Конгрессу предприятий nanoиндустрии. Москва, Россия, 2016. URL: <http://www.rusnano.com/infrastructure/congressnano>

- Lux Research*. Nanotechnology Update: U.S. Leads in Government Spending Amidst Increased Spending Across Asia. USA, New York, 2015. 2 p. URL: [http://www.luxresearchinc.com/sites/default/files/AM\\_Nanotechnology\\_KTA\\_12\\_15.pdf](http://www.luxresearchinc.com/sites/default/files/AM_Nanotechnology_KTA_12_15.pdf)
- Petrulin V.F.* History and Some Programs of Ultra Dispersed Materials Development in Russia / Proceedings of the WTEC Workshop on Russian Research and Development Activities on Nanoparticles and Nanostructured Materials. Baltimore, 1997. P. 93–98.
- Roco M.C.* The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 Years // *Journal of Nanoparticle Research*. 2011. Vol. 13. No. 2. P. 427–445.
- Terekhov A.I.* R&D on Carbon Nanostructures in Russia: Scientometric Analysis, 1990–2011 // *Journal of Nanoparticle Research*. 2015. Vol. 17. No. 2. P. 1–26.
- The President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST)*. Report to the President and Congress on the Fifth Assessment of the National Nanotechnology Initiative. Washington, D.C., 2014. 88 p. URL: [www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast\\_fifth\\_nni\\_review\\_oct2014\\_final.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast_fifth_nni_review_oct2014_final.pdf)
- Tijssen R.J.W., Visser M.S., Van Leeuwen T.N.* Benchmarking International Scientific Excellence: Are Highly Cited Research Papers an Appropriate Frame of Reference? // *Scientometrics*. 2002. Vol. 54. No. 3. P. 381–397.
- Youtie J., Shapira P., Porter A.L.* Nanotechnology Publications and Citations by Leading Countries And Blocks // *Journal of Nanoparticle Research*. 2008. Vol. 10. No. 6. P. 981–986.

# RUSSIA'S PLACE IN AN EVOLVING NANOTECHNOLOGICAL LANDSCAPE

ALEXANDER TEREKHOV

Central Economics and Mathematics Institute of the RAS, Moscow, 117418, Russian Federation

## Abstract

Nanotechnology (NT) is the first global scientific and technological initiative of the 21<sup>st</sup> century, which attracted considerable research, economic, and political interest. Due to the perception of NT as a source of transformative innovations (the effects of which may be enhanced through convergence with bio-, info-, and cognitive technologies), the governments of many countries have adopted national nanotechnology programs. Nano-bibliometrics, that arose in the West in the late 1990s, in the 2000s, became rapidly growing area of intensive research with a special focus on cross-country comparisons.

The article presents a comparative analysis of Russia and some other countries, active in the nano field throughout 2000–2014. Initial data (about 570 thousand nano publications) were obtained from the Science Citation Index Expanded database. It was analyzed using main bibliometric indicators in order to identify publication output, citation, and co-authorship links.

This research demonstrates that, despite the recession of hyperinterest, Nanotechnological field continues to grow. Due to unevenness of this growth it leads to significant changes in the global nanotechnology landscape, as exemplified by drift of center of the global nano research to the Asian region. Leading Western players more and more concede to Asian countries both in volume, and in scientific impact of the produced nano publications. In these terms, the United States has lost the lead under onslaught from China and Singapore, while South Korea actively attacks the German positions in international ranking. In its turn, latecomer Iran has taken, in 2014, the fifth place by publication output. Russia was not able to reach the set goal to become one of the world nano-leaders. The country's international competitiveness in the field is associated with a limited number of scientific directions, such as graphene research,

nanobiomedicine, metamaterials for optics. Current results of the Russian nanotechnology policy are also discussed in connection with the completion of the Program of nanoindustry development in Russian Federation up to 2015.

**Keywords:**

nanotechnology; bibliometric analysis; cross-country comparisons; international scientific cooperation; Russia.

**References**

- Alferov Z.I. (1996). The history and future of semiconductor heterostructures from the point of view of a Russian scientist. *Physica Scripta*. Vol. 68. P. 32–45.
- Alfimov M.V., Gokhberg L.M., Fursov K.S. (2010). Nanotehnologii: Opredelenija i klassifikacija [Nanotechnologies: Definitions and Classification]. *Rossijskie nanotehnologii– Nanotechnologies in Russia*. Vol. 5. No 7–8. P. 8–15.
- Bajwa R.S., Yaldram K., Hussain S.S., Ahmed T. (2012). Nanotechnology research among some leading OIC member states. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 14(9). P. 1–10.
- Bhattacharya S., Shilpa, Bhati M. (2012). China and India: The two new players in the nanotechnology race. *Scientometrics*. Vol. 93. No. 1. P. 59–87.
- Gorjiara T., Baldock C. (2014). Nanoscience and nanotechnology research publications: a comparison between Australia and the rest of the world. *Scientometrics*. Vol. 100. No. 1. P. 121–148.
- Guan J., Ma N. (2007). China's emerging presence in nanoscience and nanotechnology: A comparative bibliometric study of several nanoscience 'giants'. *Research Policy*. Vol. 36. No. 6. P. 880–886.
- Kostoff R.N. (2012). China / USA nanotechnology research output comparison—2011 update. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 79. No. 5. P. 986–990.
- Lux Research. (2015). *Nanotechnology Update: U.S. Leads in Government Spending Amidst Increased Spending Across Asia*. USA, New York. 2 p. URL: [http://www.luxresearchinc.com/sites/default/files/AM\\_Nanotechnology\\_KTA\\_12\\_15.pdf](http://www.luxresearchinc.com/sites/default/files/AM_Nanotechnology_KTA_12_15.pdf)
- Petrunin V.F. (1997). History and some programs of ultra dispersed materials development in Russia. *Proceedings of the WTEC Workshop on Russian Research and Development Activities on Nanoparticles and Nanostructured Materials*. Baltimore. P. 93–98.
- Roco M.C. (2011). The long view of nanotechnology development: The National Nanotechnology Initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research*. 2011. Vol. 13. No. 2. P. 427–445.
- Sargeant J.F. (2008). *Nanotechnology and U.S. competitiveness: issues and options*. Congressional Research Service Report. Washington, DC. 27 p. URL: [www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34493.pdf](http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34493.pdf)
- Terekhov A.I. (2015). R&D on carbon nanostructures in Russia: Scientometric analysis, 1990–2011. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 17. No. 2. P. 1–26.
- Terekhov A.I. (2011). Obespechenie kadrami prioritetnyh nauchnyh napravlenij (na primere nanotehnologii) [Providing personnel for priority research fields (the example of nanotechnologies)]. *Vestnik RAN*. Vol. 81. No 1. P. 11–17.
- The President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST). (2014). *Report to the President and Congress on the Fifth Assessment of the National Nanotechnology Initiative*. Washington, D.C. 88 p. URL: [www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast\\_fifth\\_nni\\_review\\_oct2014\\_final.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast_fifth_nni_review_oct2014_final.pdf)
- Tijssen R.J.W., Visser M.S., Van Leeuwen T.N. (2002). Benchmarking international scientific excellence: Are highly cited research papers an appropriate frame of reference? *Scientometrics*. 2002. Vol. 54. No. 3. P. 381–397.
- Youtie J., Shapira P., Porter A.L. (2008). Nanotechnology publications and citations by leading countries and blocks. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 10. No. 6. P. 981–986.