

-
- Чичкин А. Продовольственная кабала // DF Economic Journal. 2011. Июнь.
- Чуйков А. Мелкопоселковая страна // Аргументы недели. 2014. № 39 (431). 16 окт.
- Эйхлер В. Яды в нашей пище. М.: Мир, 1985.
- Эроньер Л. Пальмовое масло может навредить здоровью? InoСМИ.Ru. 16.08.2012. URL: <http://inosmi.ru/world/20120816/196676213.html>.
- Avoiding heart attacks and strokes: Don't be a victim – protect yourself. World Health Organization, 2005.
- Chen B., Seligman B., Farquhar J., Goldhaber-Fiebert J. Multi-country analysis of palm oil consumption and cardiovascular disease mortality for countries at different stages of economic development. 1980–1997. URL: <http://www.globalizationand-health.com/content/7/1/45>, 2011.
- Corporate power in global agrifood governance / Eds. Clapp J. and Fuchs D. Cambridge: The MIT Press, 2009.
- Decade of dangerous food imports from China // Food & Water Watch. 2011. June.
- EU trade in agriculture. URL: http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/june/tradoc_129093.pdf
- Garrett L. Biology's brave new world. The promise and perils of the synbio revolution // Foreign Affairs. 2013. № 6.
- Noble R.K. Keeping science in the right hands // Foreign Affairs. 2013. Nov./Dec.
- Palm oil foreign trade in Ukraine in 2009. Export. URL: http://www.export.by/en/?act=s_docs&mode=view&id=13271&type=by_class&indclass=23354&mode2=archive&doc=64.
- Palm oil production by country. URL: <http://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm-oil&graph=production>.
- Russia prepares to ban indonesian palm oil // TEMPO. CO, Jakarta. 2014. 4 Sept. URL: <http://en.tempo.co/read/news/2014/09/04/056604588/Russia-Prepares-to-Ban-Indonesian-Palm-Oil>.
- The global enabling trade report 2012. World Economic Forum, 2012.

Рукопись поступила в редакцию 11.05.2015 г.

О НЕКОТОРЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ИТОГАХ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД¹

А.И. Терехов

Нанотехнологии (НТ) – первая глобальная научно-техническая инициатива XXI в., привлекающая значительный исследовательский, экономический и политический интерес. Российское правительство считает их локомотивом для перевода экономики на инновационные рельсы, стремясь в среднесрочной перспективе вывести страну в число мировых лидеров. В статье представлен наукометрический анализ промежуточных итогов развития НТ. Расчет библиометрических индикаторов показал продолжающееся снижение доли России в мировом массиве «нанопубликаций», позволил измерить интенсивность ее сотрудничества с разными группами стран, сравнить цитируемость соавторских (с зарубежными учеными) и только российских публикаций. Анализ патентов позволил оценить патентную активность российских изобретателей (внутреннюю и международную), складывающийся патентный ландшафт и возможные направления коммерциализации в области углеродных наноструктур. В заключение обсуждаются проблемы политики, проводимой научными властями страны в сфере НТ.

Ключевые слова: нанотехнологии, углеродные наноструктуры, базы данных, наукометрия, библиометрические индикаторы, патенты, инновации, политика научных властей.

© Терехов А.И., 2015 г.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 14-02-00031).

ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнологии (НТ) – наиболее яркий представитель наукоемких технологий, открывающих новые возможности для широкого спектра отраслей экономики. Исследования в области НТ стартовали в 1980-е гг., в 1990-е набирали силу и резко прибавили темпы и масштабы в 2000-е гг. благодаря принятию многими странами нанотехнологических инициатив. В последние годы развитие НТ характеризовалось:

- спадом рекламного ажиотажа и осознанием того, что реализация экономического потенциала НТ, по-видимому, не будет слишком быстрой (см., например, (Noorden, 2011));

- отказом в ряде развитых стран от отдельных координируемых на государственном уровне усилий, направленных на развитие НТ, по мере истечения срока действия принятых инициатив и превращения приложений НТ в неотъемлемую часть более широкого финансирования науки и технологий (PCAST, 2014). Так, ассигнования в соответствии с Национальной нанотехнологической инициативой (ННИ) США сократились в 2014 г. по сравнению с 2010 г. почти на 20%. Япония с 2011 г. перестала рассматривать НТ как целевую область, объединив ее с более масштабным планом финансирования, впрочем, продолжая при этом увеличивать федеральную поддержку НТ. Евросоюз в 2009 г. приступил к выявлению, а в 2012 г. – уже к разработке европейской стратегии развития и применения ключевых технологий, открывающих новые возможности. В общий список таких технологий, наряду с НТ, включены также промышленная биотехнология, перспективные материалы, фотоника и др. (ЕС, 2012);

- сменой лидеров, а также лидирующих групп стран по библиометрическим показателям. Согласно нашим расчетам по числу «нанопубликаций» в базе данных Science Citation Index Expanded (БД SCIE) Китай обошел в 2011 г. прежнего лидера – США, а совокупный публикационный выход группы азиатских

стран (Китай, Индия, Южная Корея, Иран, Япония и Тайвань) превысил в 2014 г. 56%.

Россия приняла президентскую инициативу «Стратегия развития nanoиндустрии» (Стратегия) лишь в 2007 г. – позже не только развитых стран, но и партнеров по БРИК, Ирана и Тайваня. Долгосрочная цель – перевести экономику на инновационный путь развития, добившись уже в среднесрочной перспективе вхождения страны в число мировых нанотехнологических лидеров. Помимо апробации построения в России эффективной инновационной системы НТ должна была стать главным проводником *политики переноса фундаментальных исследований из РАН в университеты*, начатой в 2006 г. По прошествии восьми лет интересно оценить, как реализуются задачи Стратегии и проводимой научной политики на фоне мировых трендов.

Поскольку локомотивом НТ выступает наука, мы проанализируем ряд актуализированных библиометрических показателей, расчет которых выполнен на основе наиболее авторитетной в мире политематической БД SCIE. Углеродные наноструктуры занимают одно из важнейших мест в истории НТ. Мировая углеродная наногонка опередила на целое десятилетие начавшуюся в 2000 г. массовую государственную приоритезацию НТ, поэтому ее опыт позволяет более детально рассмотреть состояние и перспективы развития нанотехнологий. С этой целью мы используем патентные данные, с помощью которых оценим изобретательскую активность России в области углеродных наноструктур, ее положение на мировом патентном ландшафте, а также расскажем о возможных направлениях коммерциализации имеющихся результатов. Данные о патентах на изобретения получены из БД Роспатента, а также баз данных Ведомства патентов и торговых марок США (БД USPTO) и Всемирной организации интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization) (БД WIPO). Подчеркнем, что в последнем случае речь идет, по существу, о международных патентных заявках

по процедуре РСТ². Список ключевых слов и стратегия поиска в БД SCIE были такими же, как в (Terekhov, 2012). Поиск патентов производился по ключевым словам в названиях и рефератах, причем в случае БД Роспатента на английском и русском языках.

1. БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ И АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ НТ

На рис. 1 показан продолжающийся глобальный рост исследовательского интереса к НТ. По объему публикаций по тематике НТ («нанопубликаций») США и Евросоюз (ЕС–27) практически равнозначны. В то время, как рост этой группы стран в последние годы замедлился, страны БРИК (за счет Китая и Индии) нарастающим темпом ушли вперед. Тем не менее по средней цитируемости «нанопубликаций» США значительно опережают обе группы стран (табл. 1); впереди них по этому

показателю только Нидерланды (26,7 цитирования на публикацию). Россия с 2011 г. была из десятки лидирующих стран по числу «нанопубликаций», опустившись в 2014 г. на 13-е место. По среднему показателю цитируемости она уступает как своим партнерам по БРИК, так и среднемировому уровню.

Страны – основные участники наногонки в период 2000–2014 гг. наращивали не только число «нанопубликаций», но и их доли в национальном публикационном выходе, что говорит о концентрации усилий на данном направлении. Развивающиеся азиатские страны, сделавшие ставку на НТ, значительно увеличили эти доли (в %): Иран (0,1 ↑ 15,7); Индия (1,0 ↑ 10,0); Южная Корея (1,9 ↑ 9,4); Китай (3,8 ↑ 9,2). Развитые же страны увеличили их в меньшей степени: Англия³ (0,7 ↑ 2,3); Германия (1,5 ↑ 3,6); Франция (1,3 ↑ 3,6); США (0,8 ↑ 3,3); Япония (1,8 ↑ 4,6). В результате произошло заметное перераспределение доли стран в глобальном массиве «нанопубликаций». Китай стал безоговорочным лидером; весьма заметно выросла доля Индии, ставшей третьей; стартовав с нуля, Иран вышел на пя-

² Patent Cooperation Treaty (РСТ) – международный договор в области патентного права, заключен в 1970 г. с целью упростить получение охраны изобретений, когда такая охрана испрашивается в нескольких странах.

³ Как часть Великобритании.

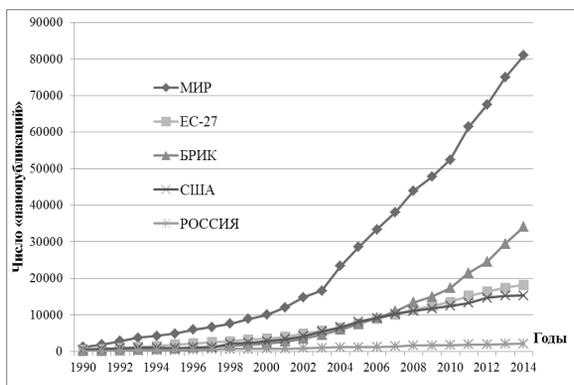


Рис. 1. Рост числа «нанопубликаций» в БД SCIE по годам

Таблица 1
Цитируемость «нанопубликаций» 2008–2012 гг. по странам и группам стран

Страна (группа стран)	Число «нанопубликаций»	Общее число цитат	Средняя цитируемость «нанопубликации»
БРИК	91 686	1 487 472	16,2
ЕС–27	68 886	1 294 025	18,2
Китай	64 207	1 165 215	18,2
США	63 040	1 628 713	25,8
Япония	19 048	290 286	15,2
Южная Корея	18 675	306 656	16,4
Индия	15 615	211 678	13,6
Иран	9400	104 930	11,2
Тайвань	9150	127 314	13,9
Россия	8670	63 388	7,3
Бразилия	3524	44 164	12,5

тое место в мире. Все развитые страны ухудшили свои рейтинги (рис. 2). Вклад России продолжает непрерывно падать, лишь слегка замедлившись после 2005 г. (рис. 3).

Как следует из данных на рис. 4, отклонение России в производстве «нанопубликаций» от уровня, эквивалентного 4% мирового выхода⁴, все более нарастает после 2008 г. Так, в 2014 г., чтобы достигнуть этого уровня, стране пришлось бы сориентировать на нанотематику около 10% всех проводимых исследований, что невозможно хотя бы в силу нехватки адекватно подготовленных научных кадров. Поэтому при сложившейся динамике мирового соперничества в нанобласти долевым показателем в 4% для России объективно недостижим да и стратегически нецелесообразен. Однако нельзя позволить ему опуститься и ниже некоторого порогового значения, после которого весьма проблематично сохранять самодостаточность в производстве научного знания и полноценно участвовать в мировой конкуренции.

Представляют интерес характер соавторских связей российских ученых с за-

рубежными, а также наличие только российских публикаций с высокой цитируемостью. В 2008–2014 гг. Россия сотрудничала с более чем 80 странами, доля международного соавторства за этот период составила 38,5%. Около 9,2% российских «нанопубликаций» были выполнены совместно с учеными Германии; 6,8% – США; 4,4 – Франции; 2,5 – Англии; 2,4 – Украины; 2,3 – Японии; 1,9 – Финляндии; 1,8 – Испании; 1,7 – Беларуси; 1,6% – Китая. На рис. 5 показана динамика международного соавторства России в целом и по группам стран. Отметим рост соавторских связей с

⁴ Это целевой индикатор на 2015 г., предусмотренный в «Программе развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года» (Программа-2015).

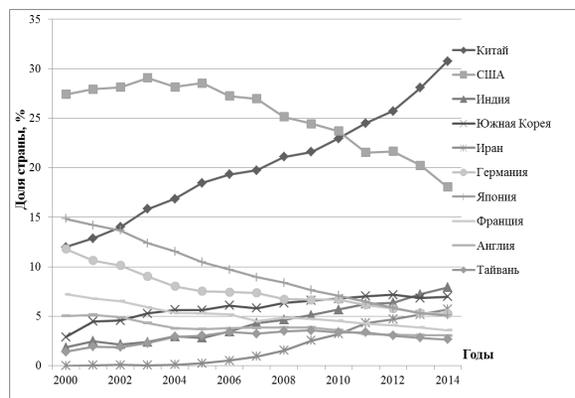


Рис. 2. Вклад ведущих участников в мировое производство «нанопубликаций»

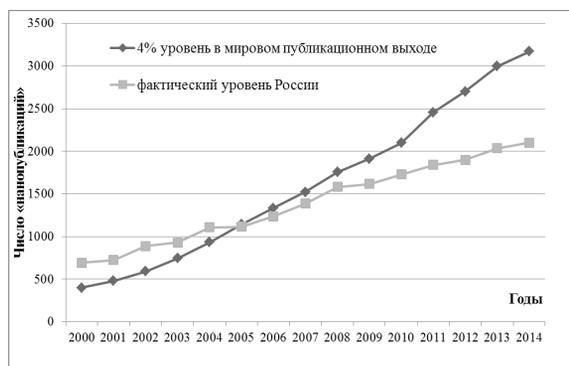


Рис. 4. Сравнение числа производимых Россией «нанопубликаций» с числом, обеспечивающим 4%-ю долю в мире

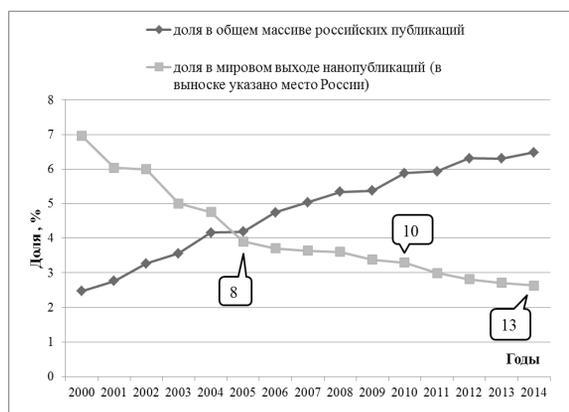


Рис. 3. Изменение доли российских «нанопубликаций» в мировом выходе и в общем массиве российских научных публикаций

ведущими западными странами, их определенную стабильность с бывшими советскими республиками и пока еще низкий уровень с партнерами по странам БРИК.

Подсчет цитат подтверждает более ранние наблюдения, например, о большей цитируемости публикаций с зарубежным соавторством против публикаций только российских авторов (Terekhov, 2012). Так, соавторские «нанопубликации» за 2008–2012 гг. получили в среднем 12,9 цитаты, тогда как только с российским авторством – 4,0. Сотрудничество с ведущими западными странами приносит России в среднем 16,4 цитат на публикацию, с партнерами по БРИК – 11,5 и бывшими советскими республиками – 5,7. В табл. 2 показано распределение цитируемости обеих групп российских «нанопубликаций»: соавторских с зарубежными учеными и только российских авторов.

Из 36 соавторских публикаций – 17, процитированных 100 раз и более, посвящены графену – наиболее горячей теме в современных нанотехнологиях. 12 публикаций (2 из которых процитированы более 1000 раз) выполнены авторскими коллективами с участием нобелевских лауреатов А.К. Гейма и К.С. Новоселова. Российская аффилиация этих работ связана лишь с одним ученым из Института

проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (ИПТМ РАН) – С.В. Морозовым. В остальных пяти работах по графену соавторами с российской стороны были ученые из Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), Института теоретической и прикладной электродинамики РАН и Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ). Имеется ряд публикаций только российских авторов, посвященных этому двумерному углеродному наноматериалу, с относительно высокой цитируемостью. Сюда относятся, например, работы, выполненные в Институте химии твердого тела УрО РАН (78 ссылок), Институте спектроскопии РАН (63), Институте теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН (58). Однако всего этого недостаточно для полноценной конкуренции в таком быстро растущем направлении, как графен.

В Топ 100 «независимых» российских публикаций входят 15 работ с аффилиацией Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН (ИБФРМ РАН, лаборатория нанобиотехнологии) и Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, посвященных применению на-

Таблица 2

Распределение цитирований российских «нанопубликаций», 2008–2014 гг.

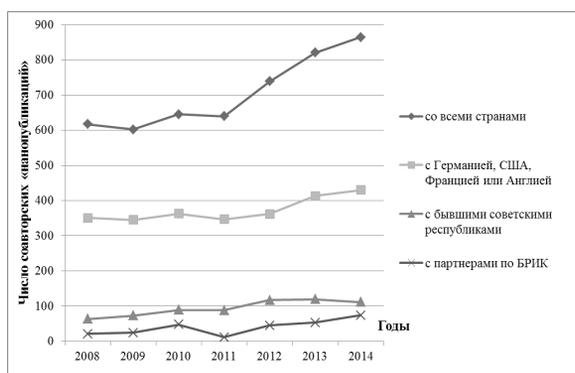


Рис. 5. Динамика международного научного сотрудничества России в области нанотехнологий

Число цитирований	Соавторские публикации		Публикации только российских авторов	
	число	доля, %	число	доля, %
0–24	4558	92,48	7792	98,91
25–49	243	4,93	64	0,81
50–74	77	1,56	13	0,17
75–99	15	0,30	2	0,03
≥ 100	36	0,73	6	0,08
≥ 1000	2	0,04	0	0
Медианная цитируемость для Топ 100 «нанопубликаций»	76,5		31,5	

ночастиц в биомедицине. Три обзорных работы имеют более 100 цитирований каждая. Ряд работ выполнен совместно с другими институтами РАН и вузами, Российским онкологическим научным центром им. Н.Н. Блохина, ФГУП «ГНЦ «НИОПИК»». По наукометрическим признакам данную коллаборацию можно отнести к сложившимся отечественным центрам совершенства в области нанобиомедицины. Совместная публикация Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН), Института проблем химической физики РАН (ИПХФ РАН) и Научного центра волоконной оптики РАН о волоконном лазере с использованием углеродных нанотрубок (УНТ) получила 168 цитирований, что говорит о высокой значимости научного результата.

Перечисленные достижения связаны в основном с институтами РАН, однако политика форсированной финансовой поддержки вузовского сектора определенно принесла плоды. Вузы увеличили свое представительство в Топ 10 по числу «нанопубликаций» с трех (в 2008–2010 гг.) до четырех (в 2011–2013 гг.). Вновь вошедшим сразу на пятую строчку стал Санкт-Петербургский исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО) (табл. 3). Два его представителя – Ю.С. Кившарь и А.В. Федоров – входят в Топ 10 наиболее продуктивных в области НТ российских авторов (табл. 4). Ученый с мировым именем Ю.С. Кившарь (Австралийский национальный университет) выиграл в 2011 г. мегагрант правительства России для создания в ИТМО лаборатории метаматериалов, что в короткие сроки стимулировало значительный рост публикационной активности. Показатели цитируемости представителей двух волгоградских вузов и МГУ находятся, к сожалению, на низком уровне.

Интересно отметить, что МГУ, тесно сотрудничающий с РАН, по масштабным и качественным показателям в рассматриваемой области равен практически одному академическому институту – ФТИ РАН. Повышению показателей цитируемости СПбГУ по сравнению с предыдущим трехлетним периодом

могло способствовать то, что двое высоко цитируемых ученых РАН – И.А. Овидько и В.Г. Дубровский – в списки аффилиаций в своих публикациях (в общей сложности 38) стали добавлять университет. На аналогичную (нередко навязываемую) практику в отношении вузовских совместителей мы указывали ранее в (Terekhov, 2012). Выравнивание средних показателей цитируемости «нанопубликаций» в академическом и вузовском секторе (табл. 3), хотя и косвенно, подтверждает, что такая практика не является единичной. Однако подобный ресурс улучшения библиометрических показателей вузов быстро исчерпывается. К тому же все эти внутренние подвижки слишком малы, чтобы заметно улучшить ци-

Таблица 3

Ранжирование институтов по числу «нанопубликаций», 2011–2013 гг.

Ранг	Институт	Число «нанопубликаций»	Средняя цитируемость одной «нанопубликации»	<i>h</i> -индекс
1	МГУ	697	4,4	19
2	ФТИ РАН	624	5,0	21
3	СПбГУ	243	5,9	17
4	ИПХФ РАН	181	3,9	13
5	ИТМО	168	6,2	16
6	ИОФ РАН	167	5,6	13
7	НИЦ КИ	161	4,0	12
8	ИФП СО РАН	156	3,2	11
9	ФИАН	148	4,0	13
10	НГУ	125	3,7	9
	РАН	3573	4,5	39
	Вузы	2762	4,4	34
	ВСЕГО	5773	4,4	46

Примечание. ФТИ РАН – Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН; НИЦ КИ – Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (без учета вошедшего в состав НИЦ в 2011 г. Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН); ИФП СО РАН – Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН; ФИАН – Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН; НГУ – Новосибирский государственный университет.

тируемость российских «нанопубликаций» на фоне других стран даже не первого ряда (см. табл. 1). Сказанное также лишний раз подчеркивает, что библиометрическими индикаторами манипулируют, поэтому их следует применять осторожно.

Таким образом, краткий библиометрический анализ показал:

- конкурентная доля России в глобальном производстве «нанопубликаций» продолжает снижаться, несмотря на их абсолютный рост, а также рост их доли в числе всех российских публикаций;

- российские «нанопубликации» делает видимыми в основном международное соавторство, появление «независимых» центров совершенства – пока еще редкое событие.

- политика научных властей способна повлиять на внутренний ландшафт проводимых nanoисследований, однако в условиях ограничений, в первую очередь кадровых, она не может переломить негативный для России тренд в международной конкуренции.

Широкий интерес к НТ в мире обусловлен не только их стратегической ролью для научно-технологического прогресса, но и

высоким коммерческим потенциалом. В силу более длительного исторического пути опыт углеродного направления нанотехнологий в реализации этого потенциала может быть показателем.

2. УГЛЕРОДНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: РЕЗУЛЬТАТЫ РОССИИ

Несмотря на некоторое разочарование в связи с трудностями коммерциализации (Noorden, 2011), углеродные наноструктуры остаются в повестке дня широкого спектра приложений в таких укрупненных секторах, как нанoeлектроника, нанобиотехнология, наноэнергетика. Число публикаций, подгоняемое в последнее время интересом ученых к исследованию свойств графена, продолжает расти, а статьи, сообщающие об открытии УНТ в 1991 г. и графена в 2004 г., входят по цитируемости в Топ 100 БД SCIE, занимая 16-е и 26-е места соответственно.

Таблица 4

Наиболее продуктивные в области НТ российские авторы, 2011–2013 гг.

ФИО	Институт	Направление	Число «нанопубликаций»	Средняя цитируемость	<i>h</i> -индекс
1. Кившарь Ю.С.	ИТМО	Метаматериалы	56	13,7	16
2. Белоненко М.Б.	ВИБ	Физические свойства УНТ	54	1,3	4
3. Образцова Е.Д.	ИОФ РАН	Углеродные наноструктуры	41	6,7	9
4. Дубровский В.Г.	ФТИ РАН	Полупроводниковые наноструктуры	36	8,2	10
5. Федоров А.В.	ИТМО	Оптика полупроводников	36	6,4	9
6. Лебедев Н.Г.	ВолГУ	Физические свойства УНТ	34	1,5	4
7. Овидько И.А.	ИПМАШ РАН	Механика наноматериалов	32	7,5	9
8. Окотруб А.В.	ИНХ СО РАН	Углеродные наноструктуры	31	7,9	7
9. Лозовик Ю.Е.	ИС РАН	Физика наноструктур, нанооптика	31	6,9	7
10. Третьяков Ю.Д.	ФНМ МГУ	Функциональные наноматериалы	31	2,6	5
11. Морозов С.В.	ИШТМ РАН	Графен	13	127,0	11

Примечание. ВИБ – Волгоградский институт бизнеса; ВолГУ – Волгоградский государственный университет; ИПМАШ РАН – Институт проблем машиноведения РАН (СПб); ИНХ СО РАН – Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН; ИС РАН – Институт спектроскопии РАН; ФНМ МГУ – Факультет наук о материалах МГУ.

Россия имеет хорошие исторические традиции в поиске и исследовании новых форм углерода (Терехов, 2014). Обычно наукометрическая аналитика по углеродным наноструктурам адресована к представителям «звездной» тройки: фуллерены – нанотрубки – графен. Мы включим в рассмотрение также наноалмазы и такие другие формы наноуглерода (ДФНУ), как нанопористый углерод, нановолокна, углеродные наноструктуры фуллероидного типа и др. Глобальный интерес исследователей к разным типам углеродных наноструктур отражает рис. 6. Совокупный публикационный вклад России за период 1990–2014 гг. составляет около 4,6%, что соответствует шестому месту в мире. Однако ее публикации на 63% посвящены фуллеренам, наноалмазу и ДФНУ, тогда как в мировой научной литературе акцент делается на изучение УНТ и графена, а доля упомянутых выше объектов составляет около 26%. Характерный консерватизм в тематике российских исследований сказывается и на профиле патентуемых результатов.

На рис. 7 показан быстрый рост выдаваемых патентов и заявок РСТ на углеродные наноструктуры, что может свидетельствовать о появлении новых технологических решений. Заметим, что принятие Стратегии стимулировало интенсивность патентования в России: так, среднегодовой темп роста в рас-

сматриваемой области увеличился с 15,5 в 2000–2007 гг. до 18,2% – в 2007–2013 гг. Согласно данным Роспатента (табл. 5) примерно 67% выданных патентов на углеродные наноструктуры посвящены фуллеренам, наноалмазу или ДФНУ, тогда как для патентов USPTO и заявок РСТ (WIPO) аналогичная доля составляет около 18 и 22% соответственно. Российские изобретатели сделали наибольший вклад среди стран БРИК в патенты USPTO по фуллеренам и наноалмазу, а в заявках РСТ они лидируют еще и по ДФНУ. Однако по вкладу в патенты USPTO на углеродные наноструктуры в целом впереди них изобретатели из Китая и Индии, а в заявках РСТ они вторые после изобретателей из Китая (см. табл. 5). Таким образом, исследовательский консерватизм в рассматриваемой области имеет продолжение и в изобретательской деятельности.

Нанотехнологии потенциально сулят высокие доходы, поэтому в странах с развитой инновационной системой представительство частной сферы среди собственников нанопатентов достаточно высоко, например в Канаде – около 76% (Beaudry, Schiffauerova, 2011). В России картина обратная: по нашим расчетам, около 69% патентовладельцев – бюджетные организации (институты РАН, университеты, индивидуальные патентовладельцы, которые также зачастую работают в бюджетной сфере). Данные в табл. 6 показывают изменение

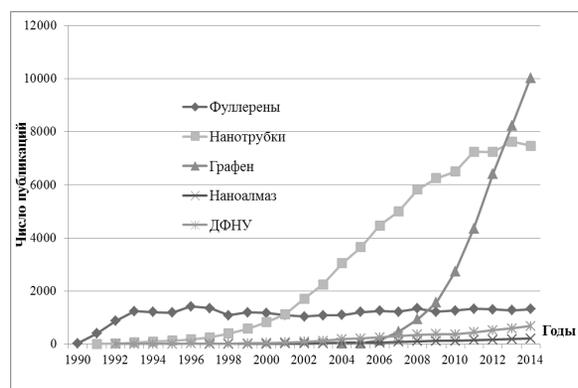


Рис. 6. Изменение числа публикаций о типах углеродных наноструктур

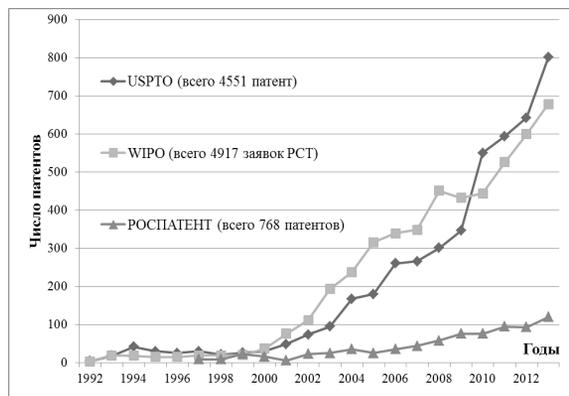


Рис. 7. Рост числа патентов и заявок РСТ (WIPO) на изобретения в области углеродных наноструктур

Таблица 5

Число патентов и заявок РСТ (WIPO) на углеродные наноструктуры с учетом страны проживания хотя бы одного из изобретателей, 1992–2013 гг.

Страны БРИК	Патентная организация (ведомство)	Число документов по типам углеродных наноструктур, %					
		Фуллерены	Нанотрубки	Графен	Наноалмаз	ДФНУ	Всего
Бразилия	WIPO (PCT)	0 (0)	12 (0,37)	2 (0,22)	0 (0)	1 (0,31)	15 (0,31)
	US PTO	0 (0)	3 (0,08)	0 (0)	0 (0)	2 (0,89)	5 (0,11)
Россия	WIPO (PCT)	33 (4,55)	13 (0,4)	8 (0,89)	6 (11,32)	10 (3,06)	70 (1,42)
	US PTO	8 (1,34)	3 (0,08)	1 (0,28)	4 (18,18)	4 (1,78)	20 (0,44)
	РОСПАТЕНТ	336 (96,55)	242 (88,97)	7 (87,5)	78 (100)	61 (98,39)	724 (94,27)
Индия	WIPO (PCT)	2 (0,28)	28 (0,85)	11 (1,22)	1 (1,89)	3 (0,92)	45 (0,92)
	US PTO	2 (0,33)	22 (0,61)	1 (0,28)	0 (0)	1 (0,44)	26 (0,57)
Китай	WIPO (PCT)	3 (0,41)	70 (2,13)	84 (9,29)	0 (0)	3 (0,92)	160 (3,26)
	US PTO	3 (0,5)	447 (12,43)	4 (1,13)	1 (4,55)	10 (4,44)	465 (9,69)

соотношения различных категорий патентов-ладелец для двух сравниваемых периодов времени. Так, после принятия Стратегии доля университетов значительно возросла, обойдя даже отечественный бизнес-сектор. В известной степени это результат политики правительства, которое переносит приоритеты в развитии инновационной активности на университеты. Однако, как и исследовательские институты, университеты пока еще не имеют необходимой инновационной инфраструктуры. Кроме того, слабая правовая грамотность ученых и администраторов в области защиты интеллектуальной собственности (ИС), нерешенные вопросы распределения прав на нее и др. серьезно препятствуют введению объектов ИС в экономический оборот (Полякова, 2013). Отсутствие перспективы коммерциализации часто приводит к досрочному прекращению действия патентов, в первую очередь у патентовладельцев бюджетной сферы. Так, из 555 российских патентов, выданных до 2012 г., наибольшую долю прекративших свое действие к апрелю 2013 г. имела РАН (61,8%); за ней следуют индивидуальные патентовладельцы (36,1%) и университеты (31,3%). Минимальная доля – у иностранных компаний – 6,9%; у ФГУП и частного бизнеса – 14,1 и 24,7% соответственно. Правительство стре-

мится разрешить проблемы путем упрощения механизма создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ для коммерциализации ИС, налогового стимулирования инноваций, в том числе путем гибкого налогообложения нематериальных активов компаний и т.д. Однако сдвиги происходят пока еще медленно. Согласно табл. 6 отечественный бизнес-сектор увеличил свою долю в собственности на патенты в 2008–2013 гг. по сравнению с 1997–2007 гг. всего лишь на 1,7 п.п. Только 4,6% всех патентов на углеродные наноструктуры, выданных Роспатентом университетам и институтам РАН в 2008–2013 гг., имели совладельца в бизнес-секторе (по сравнению с 1,8% в 1997–2007 гг.).

Иностранным компаниям выдано 49 патентов РФ на углеродные наноструктуры (~18% всех патентов корпоративного сектора), среди них – такие, как IBM Corp. (США), BASF SE (Германия), Sanatu Oy (Финляндия), SONY Corp. (Япония), ARKEMA (Франция), Airbus Operations Ltd (Великобритания) и др. Поскольку отечественный бизнес пока слабо стремится к патентованию за рубежом, совладельцами патентов на изобретения с участием россиян нередко становятся иностранные компании, как это было в 11 (из 20) патен-

Таблица 6
Структура собственников российских патентов
на углеродные наноструктуры

Категория патентовладельца	Доля патентов, выданных Роспатентом данной категории патентовладельцев, %	
	1997–2007 гг.	2008–2013 гг.
Институты РАН	34,8	25,3
Индивидуальные патентовладельцы	24,4	23,7
ОАО, ЗАО, ООО	18,4	20,1
ФГУП	13,2	7,3
Университеты	8,8	20,8
Иностранные компании	4,4	7,3
Прочие	0,4	3,5

Примечание. ФГУП – федеральное государственное унитарное предприятие; ОАО – открытое акционерное общество; ЗАО – закрытое акционерное общество; ООО – общество с ограниченной ответственностью.

тах USPTO и в 22 (из 70) заявках РСТ. Данное обстоятельство создает риск для утечки патентоспособных идей, которая способна подрывать конкурентоспособность России на глобальных высокотехнологичных рынках в будущем.

Тематическая структура патентов и заявок РСТ (см. табл. 5), производственная специализация лидеров малого и среднего бизнеса показывают, что возможности коммерциализации для углеродных наноструктур связаны в основном с фуллеренами, наноалмазами и ДФНУ. Среди имеющихся технологических решений можно отметить:

- синтез сверхтвердого фуллерита для использования в качестве конструкционного и полупроводникового материала в металлообработке и электронике (ФГБНУ ТИСНУМ: патенты № 2127225 RU; 6245312 US; заявка РСТ № WO/1998/016465);

- создание фуллеренсодержащего нематического жидкокристаллического комплекса с быстродействующим оптическим откликом для использования в жидкокристаллическом дисплейном устройстве (НИИ Лазерной физики, ФГУП Государственный оптиче-

ский институт им. С.И. Вавилова и Samsung Electronics Co Ltd: патенты № 2397522 RU; 7482043 US);

- технологию получения нелинейной оптической среды для ограничителей лазерного излучения, а также переключателей и фильтров для оптических систем нового поколения (ЗАО «Астрин-Холдинг» и НИИ Лазерной физики, ФГУП Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова: патент № 2238577 RU). Изобретение ЗАО «Астрин-Холдинг» полиэдральных многослойных углеродных наноструктур фуллеренидного типа (патент № 2196731 RU; заявка РСТ № WO/2003/093175) нашло применение в других изобретениях:

- создание антифрикционного композиционного материала для использования в различных отраслях промышленности (ФГУП «Прометей» и ЗАО «Астрин-Холдинг»: патент № 2237685 RU);

- создание композиции для получения строительных материалов (ЗАО «Астрин-Холдинг» и 26 ЦНИИ Минобороны РФ: патент № 2233254 RU);

- создание композиции для герметизации топливных отсеков и элементов конструкций летательных аппаратов в авиакосмической технике (ФГУП Всероссийский НИИ авиационных материалов: патент № 2263699 RU).

В последние годы растет интерес к возможному применению наноалмазов в композитах, смазочных материалах и в качестве средств доставки лекарств (Mochalin et al., 2012). Россия имеет исторические традиции в производстве и использовании этого материала, а также патенты (см. табл. 5). Например, ЗАО «Алмазный центр» запатентовал безопасный и надежный способ получения наноалмаза; этот способ обеспечивает улучшенные технические, экономические и экологические параметры и позволяет организовать его широкое производство (патенты № 2348580 RU; 7867467 US; заявка РСТ № WO/2007/078210). ООО «СКН» (г. Снежинск) запатентовало устройство для очистки и модификации наноалмаза (патент № 2452686 RU; заявка РСТ

№ WO/2008/143554). ФГУП ФНЦП «Алтай» (г. Бийск) – первый в России массовый производитель наноалмазов – имеет четыре патента РФ на их применение в технологиях машиностроения и химии. Другие российские патенты охватывают практически все из перечисленных выше областей применения наноалмазов.

И все-таки глобальным трендом 2000-х гг. стали УНТ и, позже, графен. Россия не среагировала на переход мирового исследовательского интереса в начале 2000-х гг. от фуллеренов к УНТ и соответственно отстала в патентовании и производстве этого наноматериала. Одно время мы не могли обеспечить нанотрубками нужного качества даже исследовательские лаборатории. Сейчас положение постепенно выправляется. В стране есть несколько производителей многостенных УНТ, главный из которых – ООО «НаноТехЦентр» в г. Тамбове. Одностенные УНТ, правда, в масштабах, обеспечивающих лишь исследовательские потребности, производит ООО «Углерод Чг» (п. Черноголовка). Наконец технологическая компания ООО «ОКСИАЛ.РУ» (г. Новосибирск) недавно вывела на рынок материал TUBALL с высоким содержанием одностенных УНТ (>75%) и ценой в 50 раз ниже цены продуктов сравнимого качества (<http://ocsial.com/ru/>). Российских же производителей графена пока не появилось.

Случай ООО «ОКСИАЛ.РУ»⁵ заслуживает внимания в силу заявленных задач (массовое производство УНТ) и подключения к этому проекту ОАО «РОСНАНО». Кроме того, в данном случае отечественный бизнес как раз активно стремится выйти на международный рынок. У истока создания оригинальной технологии получения одностенных УНТ стоял М.Р. Предтеченский – ученый из Инсти-

тута теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (ИТ СО РАН). Основу составил разработанный и запатентованный им в 2000 г. в России и в 2005 г. в США плазмохимический реактор (патенты № 2157060 RU; 6846467 US). Метод синтеза УНТ был запатентован в 2012–2013 гг. люксембургской компанией MCD Technologies A.A.R.L. (патенты № 2478572 RU; 8137653 US; 8551413 US). Описанная в патентах технология реализована в пилотной промышленной установке синтеза одностенных УНТ Graphetron 1.0, которая запущена в 2013 г. в технопарке новосибирского Академгородка компанией «ОКСИАЛ.РУ». Установка производит более тонны нанотрубок в год, а соотношение цена/качество делает экономически целесообразным их массовое внедрение. Успешная эксплуатация установки доказала возможность неограниченного масштабирования технологии синтеза. Компания предлагает свой продукт в качестве нанодобавок в уже существующие материалы: катодный материал литий-ионных батарей, резину для производства шин, композиты для кузовных деталей автомобиля, углепластики для производства спортивного инвентаря и др. Ее бизнес-модель ориентирована на внедрение нанодобавок на уже существующих и отлаженных производствах. Например, под внедрение нанотрубок в производство автомобильных шин (ОАО «Нижекамскшина») и нефтехимическое производство (ОАО «Казаньоргсинтез») в Татарстане планируется строительство завода мощностью до 250 тыс. т нанопродукта в год (В Татарстане могут..., 2015). Однако такая модель может давать сбой, если производящие компании не захотят изменять устоявшиеся технологические процессы ради приростного улучшения качества своей продукции. К тому же в каждом случае должен быть решен непростой технологический вопрос – равномерное диспергирование нанодобавки в материале-хозяине (Noorden, 2011).

Известен не вполне удачный исторический опыт американской компании Carbon Nanotechnologies Inc, созданной нобелевским лауреатом Р. Смолли и обладавшей весомым

⁵ ООО основано в 2009 г. четырьмя физическими лицами (~70% компании). Системным инвестором является дочерняя компания ОАО «РОСНАНО» (~20%). Порядка 10 млн долл. в ООО инвестировал известный российский бизнесмен. В компании работает 160 человек, из них – 22 ученых и 17 менеджеров.

портфелем патентов и собственным производством УНТ. Тем не менее в 2007 г. она была продана по «бросовой» цене компании Arrowhead Research Corporation, после чего слита с ее дочерней структурой – Unidym Ltd. В 2011 г. уже сама Unidym Ltd была продана корейской электронной компании Wisepower Co Ltd под предлогом дальнейшей вертикальной интеграции. Симптоматично также, что в 2013 г. такая крупная немецкая компания, как Bayer AG, занимающаяся в том числе высокотехнологичными полимерными материалами, в конце концов отказалась от масштабного проекта производства и использования УНТ.

Оценивая коммерческую жизнеспособность отечественного проекта, нельзя не учитывать и естественное соперничество УНТ с графеном, который обладает рядом преимуществ перед нанотрубками, кроме того, его проще получать и обрабатывать (Noorden, 2011; Cientifica, 2013). Согласно некоторым исследованиям композиты с внедрением графена прочнее, жестче и менее подвержены отказу, чем композиты с УНТ (Korotkar, 2013). Само руководство ООО «ОКСИАЛ.РУ» оценивает временное окно для коммерческого преимущества своего метода в 5–10 лет, хотя по мнению председателя правления УК «РОСНАНО» А.Б. Чубайса, проект может стать для России флагманским (В Татарстане могут..., 2015). По иронии судьбы это заявление было сделано практически одновременно с представлением графеновой электролампочки – первого в мире коммерческого применения графена – на открытии Национального института графена (НИГ) при Манчестерском университете (Graphene light bulb..., 2015). По оценкам разработчиков новые осветительные приборы будут экономичнее многих существующих светодиодных ламп, производство которых является еще одним проектом «РОСНАНО». В свое время ОАО «РОСНАНО» не сочло возможным, создав союз науки, бизнеса и правительства, включиться в разработку и реализацию углеродных нанотехнологий, в том числе графеновых. Такая возможность обсуждалась, например, на встрече К.С. Но-

воселова и А.Б. Чубайса в ходе Третьего международного форума по нанотехнологиям в 2010 г. в Москве. Не прижившись у нас, данная идея была реализована в Манчестере: на деньги правительства Великобритании и Европейского фонда регионального развития построен НИГ, где в настоящее время 35 компаний и 200 ученых (среди которых двое молодых нобелевских лауреатов – выходцев из России), координируя усилия, разрабатывают способы коммерциализации графена. Ожидается, что НИГ станет для него центром новой инновационной экосистемы.

Общим результатом почти 30-летней углеродной наногонки стало понимание того, что путь от открытия до индустрии у этих чудо-материалов может быть столь же длителен, как и у других инновационных материалов (Noorden, 2011). Анализ участия России в этой гонке показал, что:

- имея неплохие заделы в исследовании углеродных наноструктур, российская наука в результате понесенных потерь (из-за социально-экономического кризиса 1990-х гг. и непродуманного реформирования в 2000-е гг.) не смогла активно включиться в глобальный рывок в изучении УНТ и графена. Это привело к консервативной по сравнению с миром тематической направленности не только в исследованиях, но и в патентуемых изобретениях и коммерческих приложениях;
- инновационная политика стимулировала изобретательскую деятельность и увеличила долю патентов, получаемых университетами после 2007 г. Однако экономические возможности использования патентов пока невелики, особенно у бюджетных организаций, что приводит к досрочному прекращению их действия, подталкивает к утечке патентоспособных идей;
- слабое стремление российского бизнеса к выходу на мировые высокотехнологичные рынки снижает заинтересованность в международном патентовании, по которому мы значительно уступаем Китаю;
- наиболее обещающей для коммерциализации может стать разработка учеными из

РАН метода получения дешевых одностенных нанотрубок. Однако на пути к завоеванию рынка ей предстоит преодолеть еще множество барьеров;

- очевидно, необходимо усиление исследований и разработок в области графена, иначе страна может оказаться не готовой к прогнозируемой волне преобразующих инноваций, основанных на применении этого материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на некоторое смещение фокуса в государственной политике ряда стран, глобальный рост интереса к НТ продолжается, основные участники (страны, группы стран) также находятся в фазе роста. Позиции России на этом фоне все более ослабевают. Вопреки политике стимулирования публикационной активности, особенно в вузах, по производству «нанопубликаций» Россия опустилась на 13-е место в мире без перспективы в ближайшее время вернуться в десятку лидирующих стран. Еще больше отставание – в таких «горячих» направлениях, как УНТ и графен.

Путем целенаправленной политики российским научным властям удалось отчасти изменить внутренний ландшафт проводимых наноисследований в пользу вузовского сектора. Впечатляет прогресс ИТМО, ставшего пятым в списке наиболее продуктивных в области российских организаций. Между тем улучшение библиометрических показателей некоторыми университетами объясняется усилением их сотрудничества (реального или фиктивного – через приписки аффилиаций совместителей) с РАН. Как бы то ни было, комплекс академических институтов по-прежнему остается лидирующей в стране структурой в развитии научной и прикладной базы НТ. ФТИ РАН лишь немного уступает МГУ в производстве «нанопубликаций»; в значительной степени бла-

годаря ИБФРМ РАН в последние годы создан «независимый» центр совершенства в области нанобиомедицины; ИПХФ РАН и ИТ СО РАН разработали необходимые технологии производства одностенных УНТ, а ИПТМ РАН сотрудничает с Манчестерским университетом в изучении графена, обеспечивая стране информацию с переднего края и высокоцитируемые публикации.

Анализ патентной литературы на примере углеродных наноструктур свидетельствует, что нанотехнологическая инновационная система пока еще не достаточно выстроена, основная часть российских патентов приходится на бюджетные организации, мало способные их коммерциализовать, а сами патенты плохо выполняют роль инструмента продвижения инноваций. По-прежнему низка международная патентная активность россиян, и совсем незначительна доля зарубежных патентов, получаемых российскими компаниями. В то же время иностранные компании более активны в получении российских патентов, что в условиях технологических санкций может усугубить нашу зависимость.

Есть существенное отличие в подходе к развитию НТ в России и США: так, если ННИ США сфокусирована на науку, то российская программа изначально – на создание конкурентоспособной nanoиндустрии (Чубайс, 2015). По нашей оценке, доля расходов на фундаментальные исследования в первые семь лет реализации американской нанотехнологической программы составила не менее 30%, тогда как отечественной – не более 6% (Terekhov, 2012). Конечно, в российской программе нужно было считаться с устаревшей технологической структурой экономики, отсутствием инновационной инфраструктуры, необходимостью ускоренного освоения ключевых производств нового технологического уклада и т.д. Однако притом что драйвером НТ выступает наука, связи между которой и НТ нелинейны, ошибочно было чрезмерно полагаться на имеющиеся научные заделы, не замечая длительного снижения конкурентной доли России в мировом публикационном

выпуске. Как и следовало ожидать, старые заделы были быстро истощены, а исследовательская база для производства новых значительно ослаблена. В результате в то время как мировой рынок нанопродукции будет все более наполняться продуктами второго поколения (активные наноструктуры), мы будем вынуждены осваивать продукты первого (пассивные наноструктуры). В такой ситуации достижение и удержание 3% мирового рынка продукции наноиндустрии (что предусмотрено Программой–2015) представляются иллюзорными, ведь, согласно прогнозным расчетам (PCAST, 2014) эти 3% будут эквивалентны к 2018 г. примерно 132 млрд долл.

Сложившееся положение требует безусловной корректировки в пользу восстановления фундаментальной научной базы для дальнейшего развития НТ в нашей стране. Учет негативного опыта необходим и при разработке провозглашенной недавно Национальной технологической инициативы (НТИ). Помимо недопущения повтора уже пройденных ошибок, следует иметь в виду, что нанотехнологии прямо или косвенно будут оказывать существенное воздействие на эффективность НТИ, например, в фотонике – через фотовольтаику и дисплейную технику, лазеры и метаматериалы.

Литература

- В Татарстане могут построить завод нанотрубок, 2015. URL: <http://colesa.ru/news/38861>.
- Полякова Н. Интеллектуальный рост. S&TRF, 2013. URL: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d_no=54065#.VSlc0_msUys.
- Терехов А.И. Научное сотрудничество в области углеродных наноструктур в зеркале библиометрического анализа // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 8. С. 708–714.
- Чубайс А.Б. Индустрия прорывов. Интервью, 2014. URL: <http://www.rusnano.com/about/press->

centre/first-person/20141111-brics-industriya-proryvov.

- Beaudry C., Schiffauerova A. Is Canadian intellectual property leaving Canada? A study of nanotechnology patenting // J. Technol Transf. 2011. Vol. 36. № 6. P. 665–679.
- Cientifica. Investing in graphene, 2013. URL: <http://www.cientifica.com/wp-content/uploads/downloads/2013/07/Investing-in-Graphene.pdf>.
- European Commission (EC). A European strategy for Key Enabling Technologies – A bridge to growth and jobs. Brussels, 2012. URL: http://wbc-inco.net/object/document/10463/attach/Strategy_for_Key_Enabling_Technologies.pdf.
- Graphene light bulb set for shops, 2015. URL: <http://www.bbc.com/news/science-environment-3210007>.
- Koratkar N.A. Graphene in composite materials. USA, Lancaster: DEStech Publications, Inc., 2013.
- Noorden R. Chemistry: The trial of new carbon // Nature. 2011. Vol. 469 (7328). P. 14–16.
- Mochalin V.N., Shenderova O., Ho D., Gogotsi Y. The properties and applications of nanodiamonds // Nature Nanotechnology. 2012. Vol. 7. № 1. P. 11–23.
- Terekhov A.I. Evaluating the performance of Russia in the research in nanotechnology // Journal of Nanoparticle Research. 2012. Vol. 14. № 11. P. 1250–1267.
- 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, 2014. URL: https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast_fifth_nni_review_oct2014_final.pdf.

Рукопись поступила в редакцию 25.05.2015 г.