

УДК 62-022.53:001.8
 ББК 30.6+30.37+78.6
 DOI 10.20913/1815-3186-2018-2-69-76

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ: НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, 2000–2015 (ЧАСТЬ 3)

(окончание. Начало статьи см. в № 4–2017, продолжение – № 1–2018)

© А. И. Терехов, 2018

Центральный экономико-математический институт Российской академии наук,
 Москва, Россия; e-mail: a.i.terekhov@mail.ru

В третьей части статьи более подробно рассмотрены основные российские участники исследований углеродных наноструктур, организации, финансирующие их изучение. Проведено выборочное сравнение тематики проектов РФФИ и ННФ США, а также статей и патентов.

На примере данных WoS охарактеризована поддерживающая роль ряда национальных научных фондов в развитии углеродного направления нанотехнологий.

Ключевые слова: углеродные наноструктуры, наукометрический анализ, библиометрический индикатор, центр научного совершенства, национальный исследовательский портфель, научный фонд

Для цитирования: Терехов А. И. Углеродные наноструктуры: наукометрический анализ, 2000–2015 (Часть 3) // Библиосфера. 2018. № 2. С. 69–76. DOI: 10.20913/1815-3186-2018-2-69-76.

Carbon nanostructures: scientometric analysis for 2000–2015 (Part 3)

A. I. Terekhov

Central Economic-Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
 e-mail: a.i.terekhov@mail.ru

The article presents a scientometric analysis of the development of the carbon nanotechnology (NT) direction for 2000–2015 with the participation of 30 most active countries. It shows shifting the world research center to the Asian region, both on volume and quality indicators. Using the concept of a national research portfolio gives deep characteristics of different countries behavior in the course of scientific rivalry. Due to the strong skewness of the citation distributions, preference is given to the percentile-based indicators, such as: the contribution of a country to the world top-10% (top-1%) of the most highly cited publications, the share of such publications in the country's total output, the highly cited papers index, etc. Relying on them, the author fully discloses the scientific «offensive» of the «newcomer» countries on the «incumbents» ones (e.g. China on the USA, South Korea on Germany, Iran on Russia), the phenomenon of Singapore as an effective producer of highly cited publications on the carbon nanostructures, and international co-authorship in the top-1% segment of the most cited articles. Russia's positions are studied in detail, the main domestic research participants are established, and based on bibliometric criteria the center of scientific excellence in the field of graphene is identified. The paper characterizes the supporting role of a number of national science foundations in the NT carbon direction development using data of WoS. The author used the Science Citation Index Expanded database for the initial bibliographic sampling; information of science foundations of Russia and the USA, as well as patent organizations of Russia (Rospatent) and the world (WIPO) for additional comparison.

Keywords: carbon nanostructures, scientometric analysis, bibliometric indicator, center of scientific excellence, national research portfolio, science foundation

Citation: Terekhov A. I. Carbon nanostructures: scientometric analysis for 2000–2015 (Part 3) // *Bibliosphere*. 2018. № 2. P. 69–76. DOI: 10.20913/1815-3186-2018-2-69-76.

От редакции: Ввиду детального изложения материала статья представлена в трех частях в трех последовательных выпусках журнала. Нумерация рисунков, таблиц, приложений и ссылок – сквозная для всей статьи.

5. Основные российские участники исследований

Изучение углеродных наноструктур в России имеет свои исторические вехи, связанные порой с опережающими достижениями советских и российских ученых [22, 23]. Не всегда они были вовремя поддержаны научными властями страны, однако в ответ на мировой «фуллереновый бум» в начале 1990-х гг. было учреждено направление «Фуллерены и атомные кластеры» (в рамках государствен-

ной научно-технической программы (ГНТП) «Физика конденсированных сред»), ставшее основой для развития в стране науки о фуллеренах. Этому способствовала также деятельность созданного в 1992 г. Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), значительное количество грантов которого выделялось на изучение фуллеренов и их производных [24]. Такая поддержка в немалой степени позволила результатам исследований углеродных наноструктур стать в дальнейшем одной из важнейших

составляющих отечественной нанотехнологической программы. Как результат, Россия остается в топ-10 наиболее продуктивных в данной подобласти стран (см. табл. 1, Ч. 1), тогда как в области нанотехнологий (НТ) она покинула первую десятку в 2011 г. [18].

Основными институциональными участниками исследований выступают представители академического и вузовского секторов. Данные, приведенные в таблице 4, в целом подтверждают лидерство институтов Российской академии наук (РАН) по объемным и качественным показателям. Особое место – у Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (ИПТМ РАН), 19 и 6 работ которого входят соответственно в топ-10% и топ-1% высокоцитируемых статей об У-наноструктурах. В мировом рейтинге по количеству таких статей РАН – третья после Китайской академии наук

и Национального центра научных исследований Франции; Московский государственный университет (МГУ) лишь на 105-м месте среди университетов. К определенным успехам университетцентристской политики, проводимой в последние годы, можно отнести увеличение представительства университетов в российском топ-10 по продуктивности: к МГУ и Санкт-Петербургскому государственному университету (СПбГУ), входящим в десятку в 2000–2007 гг., добавились Московский физико-технический институт (МФТИ) и Санкт-Петербургский политехнический университет (СПбПУ) (табл. 4). В десятку наиболее продуктивных ученых в области в 2012–2014 гг., наряду с представителями РАН, вошло по одному представителю из МГУ, Волгоградского государственного университета и Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.

Таблица 4

Топ-10 наиболее продуктивных российских организаций, 2012–2014 гг.

Table 4

Top-10 of the most productive Russian organizations, 2012–2014

Ранг	Организация	Число статей об У-наноструктурах	Среднее число ссылок на одну статью	Число статей об У-наноструктурах в топ-10% / топ-1% сегментах*
1	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ)	172	8,7	31 / –
2	Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН)	144	7,3	15 / 1
3	Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)	84	10,8	6 / –
4	Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН (ИОФ РАН)	81	7,1	11 / 2
5	Институт проблем химической физики РАН (ИПХФ РАН)	75	6,0	13 / 1
6	Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ КИ)	71	6,2	1 / –
7	Московский физико-технический институт (государственный университет) (МФТИ)	58	8,3	– / –
8	Санкт-Петербургский политехнический университет (СПбПУ)	49	6,6	– / –
9	Институт неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения РАН (ИНХ СО РАН)	47	7,7	8 / 1
10	Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (ИК СО РАН)	43	7,1	5 / –
	РАН	959	9,1	93 / 11
	Вузы	830	6,5	53 / 2
	ВСЕГО	1572	8,0	141 / 12

* Данные этого столбца относятся к 2000–2014 гг.

Рассмотрение высокоцитируемых публикаций позволяет выделить когорту отечественных ученых, работающих на мировом уровне в рассматриваемой области. Всего около 250 ученых (из более чем 50 российских НИИ, университетов и компаний) внесли вклад в топ-10% статей об У-наноструктурах в 2000–2014 гг. Лучшие двенадцать представлены в таблице 5; интересно, что половина из них связаны с изучением фуллеренов и их производных.

Заметное представительство российских публикаций по графену в элитной части тематической литературы могло бы указывать на наличие центра научного совершенства (ЦНС) международного уровня. Чтобы проверить это по строгим библиометрическим критериям [17], обратимся к 54 статьям («article» в SCIE), опубликованным в период 2004–2010 гг. учеными из Научного центра РАН в Черноголовке, а именно из двух институтов: ИПТМ РАН и Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау. Используя пятилетние окна цитирования, можно рассчитать, что академический импакт этих статей более чем на 100% превышает средний показатель цитирования для статей о графене. Однако это всего лишь элементарный признак научного совершенства на институциональном уровне. Чтобы считаться ЦНС, претендент, очевидно, должен быть представлен в высшей международной лиге по цитируемости работ. Согласно расчетам, рассматриваемое подразделение РАН в указанный период внесло 4 статьи о графене в топ-1% и 10 таких статей в топ-10% сегменты

соответственно, что удовлетворяет критериям [17]. Дальнейшее сравнение этих наблюдаемых значений с ожидаемыми может более адекватно отражать уровень международного совершенства. В нашем случае $HCi_{\text{top-1\%}} = 7,4$ и $HCi_{\text{top-10\%}} = 1,9$; то есть в статистических терминах рассматриваемое подразделение РАН может быть признано ЦНС мирового класса в области графена в 2004–2010 гг. Конечно, в значительной степени это обусловлено сотрудничеством с Манчестерским университетом (Великобритания) – признанным мировым центром в изучении графена, где работают наши бывшие соотечественники нобелевские лауреаты А. К. Гейм и К. С. Новоселов.

Можно отметить важную роль международного сотрудничества для вхождения в мировую научную лигу. Так, 85% и 100% российских статей об У-наноструктурах в топ-10% и топ-1% сегментах соответственно были написаны в соавторстве с учеными из 29 стран. Наиболее часто соавторами выступают ученые из Германии (27,7% статей), США (27%) и Великобритании (20,6%). На долю Китая приходится всего 5%.

6. Организации, финансирующие изучение углеродных наноструктур; выборочное сравнение тематики проектов РФФИ и ННФ США, а также статей и патентов

Введение в БД SCIE с 2008 г. пристатейных ссылок на спонсорскую поддержку позволяет анализировать

Таблица 5

Российские ученые, имеющие высокоцитируемые статьи в области углеродных наноструктур, 2000–2014 гг.

Table 5

Russian scientists who have highly cited papers in the carbon nanostructures field, 2000–2014

ФИО	Институт	Направление исследований	Число статей об У-наноструктурах в топ-10% / топ-1% сегментах
1. Морозов С. В.	ИПТМ РАН	Графен	18 / 6
2. Попов А. А.*	МГУ	Фуллерены	10 / –
3. Болталиня О. В.**	МГУ	Фуллерены	9 / –
4. Любовская Р. Н.	ИПХФ РАН	Фуллерены	7 / 1
5. Образцова Е. Д.	ИОФ РАН	Углеродная нанотрубка (УНТ)	6 / –
6. Сапурина И. Ю.	Институт высокомолекулярных соединений РАН	Полианилин / УНТ	6 / –
7. Трошин П. А.	ИПХФ РАН	Фуллерены	5 / 1
8. Иоффе И. Н.	МГУ	Фуллерены	5 / –
9. Конарев Д. В.	ИПХФ РАН	Фуллерены	5 / –
10. Чернов А. И.	ИОФ РАН	УНТ	5 / –
11. Вуль А. Я.	ФТИ РАН	Наноалмазы	4 / –
12. Кузнецов В. Л.	ИК СО РАН	Другие формы наноуглеродов (ДФНУ)	4 / –

* В настоящее время работает в Институте физики твердого тела и материалов им. Лейбница (Германия).

** В настоящее время работает в Университете штата Колорадо (США).

структуру финансирования научной области консолидировано и по странам. Все статьи об У-наноструктурах за 2008–2015 гг. выполнены при поддержке огромного количества финансирующих организаций, первые шесть из которых это:

1) Государственный фонд естественных наук (ГФЕН) Китая – поддержал около 22% всех статей;

2) Национальный научный фонд (ННФ) США – более 5,5%;

3) Программа развития фундаментальных исследований (Китай) – около 4%;

4) Фонды фундаментальных исследований центральных университетов (Китай) – около 2,9%;

5) Национальный исследовательский фонд (НИФ) Кореи – около 1,8%;

6) РФФИ – около 1,4% всех статей.

Преобладание китайских финансирующих организаций вполне объяснимо; интересно, что Программа развития фундаментальных исследований ориентирована на задачи долгосрочного развития страны и утверждения ее науки на передовых позициях. Научные фонды – важный элемент в системе конкурсного финансирования науки. Степень поддержки национальных исследований в рассматриваемой области научными фондами Китая, США и России показана на рисунке 16. График для ГФЕН демонстрирует тренд к повышению, что позволяет, по-видимому, говорить об усилении его стимулирующей роли в бурном росте количества китайских статей об У-наноструктурах. Напротив, ННФ США стал, вероятно, утрачивать в последние годы интерес к тематике углеродных наноструктур. Для РФФИ картина более изменчива, что может быть следствием колебания доли этого фонда в общих расходах федерального бюджета РФ на науку, появления новых финансирующих организаций, таких как Российский научный фонд (РНФ) и т. д. Из рисунка 17 следует, что коэффициенты цитируемости публикаций, поддержанных научными фондами США и Китая, несколько выше среднего уровня для соответствующей страны. Специфику отечественного фонда в большой мере определяет существенная добавка к цитируемости в результате международного соавторства. Так, среди российских статей об У-наноструктурах, ссылающихся на поддержку РФФИ, тех, которые имеют международное соавторство, на 3,4 п.п. меньше, чем не поддержанных этим фондом. Например, он не участвовал в софинансировании (с Лондонским королевским обществом и Исследовательским советом по инженерно-физическим наукам) высокоцитируемых соавторских публикаций по графену. Софинансирующими партнерами РФФИ в российских статьях об У-наноструктурах чаще всего выступают Немецкое научно-исследовательское общество, ННФ США, ГФЕН, Академия Финляндии, китайская Программа развития фундаментальных исследований. Стартовавший в 2014 г. РНФ лучше учитывает фактор кооперации, однако на его относительных успехах пока может сказываться и «эффект малых чисел». Несомненно, что по мере укрепления практики ссылок на спонсоров, а также улучшения стандартизации названий финансирующих организаций, подобный анализ будет все более важен для изучения динамики научной области.

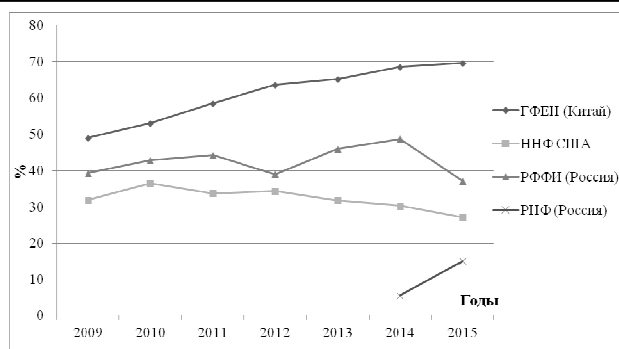


Рис. 16. Динамика доли статей об У-наноструктурах, выполненных при поддержке национальных научных фондов

Fig. 16. Share dynamics of U-nano articles carried out with the support of national scientific foundations

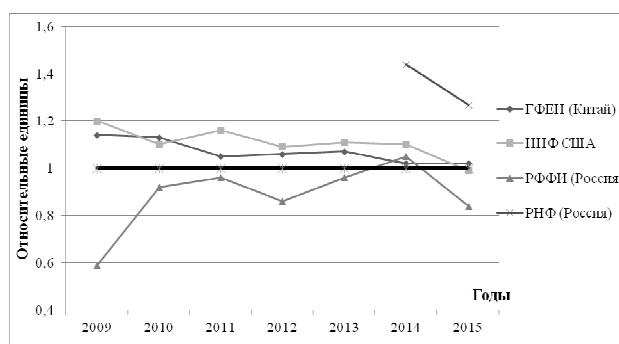


Рис. 17. Относительный показатель цитируемости статей об У-наноструктурах, поддержанных национальными научными фондами: горизонтальная жирная линия соответствует среднему уровню для конкретной страны

Fig. 17. Relative indicator of citation of U-nano articles supported by national scientific foundations: horizontal bold line corresponds to an average level for a particular country

(Аналогичные рисунки с комментариями для научных фондов четырех других стран приведены в Приложении 6).

По частоте встречаемости в названиях проектов РФФИ по нанотематике за 1993–2006 гг. термин *фуллерен* был вторым после термина *наноструктура*, что соответствовало преобладанию статей об У-наноструктурах, посвященных фуллеренам, в российском ИП [24]. В последующий пятилетний период фуллерены несколько уступили УНТ в структуре грантового финансирования российских исследований (рис. 18). Однако ее сравнение с аналогичной структурой американского фонда не позволяет ожидать в рассматриваемой области заметного увеличения похожести российского ИП на мировой.

Патенты являются следующим за научными статьями шагом в инновационной цепочке. Рисунки 19 и 20 демонстрируют достаточно хорошую согласованность тематической структуры научных публикаций и патентуемых результатов. Они также показывают, что и в возможных направлениях коммерциализации углеродных наноструктур Россия имеет собственную специфику.

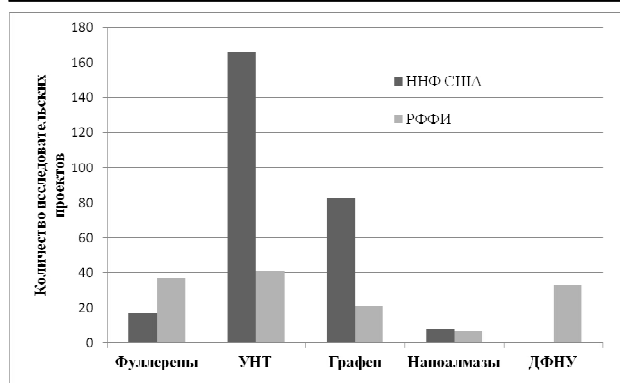


Рис. 18. Количество исследовательских проектов по типам углеродных наноструктур, запущенных ННФ США и РФФИ в течение 2007–2011 гг.

Fig. 18. Number of research projects on carbon nanostructure types launched by the US NSF and RFBR in 2007–2011

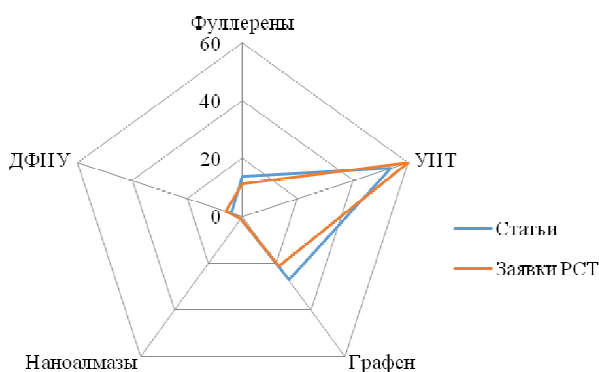


Рис. 19. Тематическая структура (в %) публикуемых статей и заявок РСТ (WIPO) в области углеродных наноструктур, 2000–2014 гг.

Fig. 19. Thematic structure (in %) of published articles and applications to WIPO in the carbon nanostructures field, 2000–2014

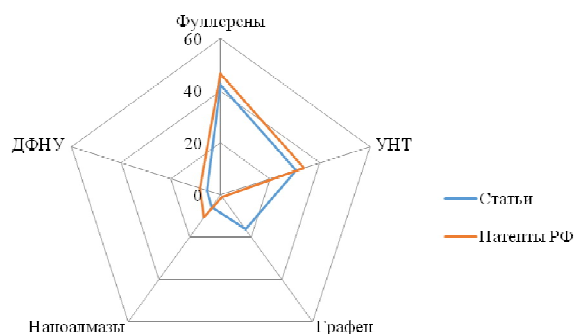


Рис. 20. Тематическая структура (в %) российских статей и патентов РФ в области углеродных наноструктур, 2000–2014 гг.

Fig. 20. Thematic structure (in %) of Russian articles and patents of the Russian Federation in the carbon nanostructures field, 2000–2014

Выводы и обсуждение

По мнению нобелевского лауреата Г. Крото, открытие фуллеренов в 1985 г., а затем УНТ в 1991 г. катализировало рождение наноуки и нанотехнологий [25]. Как бы то ни было, бум углеродных наноструктур стартовал за десять лет до начала принятия национальных нанотехнологических программ десятиками стран (вслед за США), поэтому некоторые его результаты показательны для развития НТ в целом.

Выполненный анализ прежде всего показал сдвиг мирового центра в изучении углеродных наноструктур в Азию, причем как по объему проводимых исследований, так и их возрастающему научному влиянию. Китай стал практически недостижим по количеству ежегодно производимых статей, а кроме того, обошел бывшего лидера – США – и по вкладу в их элитные сегменты. В свою очередь, маленький Сингапур превысил вклад в эти сегменты таких стран «старожилов», как Франция, Великобритания и Япония, а Южная Корея с 2011 г. имеет в топ-10% сегменте больше статей об У-наноструктурах, чем Германия. К феномену Сингапура можно добавить и его лидерство с 2011 г. как эффективного производителя высокоцитируемых статей об У-наноструктурах (согласно пропорциям $PP_{\text{top-10\%}}$ и $PP_{\text{top-1\%}}$). Почти половина статей Сингапура в топ-10% сегменте самостоятельны (без международного соавторства), что не дает оснований говорить о его попадании в элиту «на чужих плечах». Есть свои достижения и у «новичков» второй волны, например, стремительное восхождение Ирана в Топ-10 стран по количеству производимых статей об У-наноструктурах или 16-е место Саудовской Аравии (впереди Швейцарии, Бельгии, Швеции и др.) по вкладу в топ-1% сегмент таких статей.

Углеродные наноструктуры служат ареной довольно острого международного научного соперничества. Используемое в статье понятие национального ИП (вместе с его характеристиками) позволило глубже представить поведение и исследовательские стратегии разных стран. Анализ, в частности, выявил основную схему научного соревнования, когда сначала «старожилы» совершают прорыв в новую подобласть, после чего «новички» устремляются вслед за ними и за счет концентрации и объема исследований быстро развивают потенциал и создают перевес в этой подобласти. Это не исключает, однако, разнообразия «стилей» поведения стран: от «подражания» мировому тренду (Италия, Южная Корея) до «особого пути» (Россия, Украина, Мексика). Сингапур, наиболее оперативно реагирующий на смену исследовательских приоритетов, имел, например, к 2015 г. самый высокий коэффициент специализации в изучении графена среди рассматриваемых стран. Интригующим моментом остается связь изменения национальных ИП с академическим импактом. Предварительное статистическое тестирование 30 стран не дало ясного ответа на этот вопрос, он требует дальнейшего исследования.

28 из 30 рассматриваемых стран (исключая Мексику и Украину) смогли войти в высший топ-1% сегмент статей об У-наноструктурах, образуя в нем достаточно плотную сеть международных соавторских

связей. Центральными (по степени) акторами в ней являются США и Китай, которые вместе с Германией, Великобританией, Японией, Южной Кореей, Сингапуром, Францией, Австралией и Италией образуют группу наиболее активно сотрудничающих стран, на долю которой приходится более 63% всех соавторских связей. С большой вероятностью, через соавторские связи с этой десяткой могли быть представлены в высшем сегменте другие страны. Действительно, только соавторские статьи со странами из десятки имели в топ-1% сегменте Россия, Финляндия, Малайзия. С другой стороны, свыше половины высокоцитируемых статей были самостоятельными не только у Китая, США и Японии, но и у Тайваня, Ирана и Турции.

Глубокие исторические корни в изучении углеродных наноструктур, как и целевая государственная поддержка в 1990-е гг., позволили России сохранить исследовательский потенциал, благодаря чему она смогла удерживать более высокие позиции в углеродном направлении международной нанотехнологической гонки, в частности, оставаться в Топ-10 наиболее продуктивных стран. Однако в показателях цитирования Россия уступает не только другим странам-«старожилам», но и основным странам-«новичкам» первой волны, и даже некоторым представителям «новичков» второй волны, таким, например, как Иран. К положительным моментам можно отнести лишь подъем относительного показателя цитируемости в первые годы после открытия графена. Впрочем, он, как и единственный российский ЦНС (в строго наукометрическом понимании), обязан, главным образом, статьям в соавторстве с А. К. Геймом и К. С. Новоселовым. Вообще же, участие России в элитной части научной литературы в области обеспечено, за небольшим исключением, именно международными авторскими связями, в первую очередь с учеными из Германии, США и Великобритании.

На формирование российской исследовательской повестки оказали влияние как чисто научные традиции, так и определенные ресурсные ограничения (финансовые, кадровые), затруднявшие маневр и мешавшие быстро реагировать на мировые тренды. Это привело к непохожести исследовательского портфеля России и характерной специализации, что также ра-

ботало на снижении цитируемости (в среднем) российских статей об У-наноструктурах. Хотя «Стратегия развития nanoиндустрии» смогла увеличить поток российских статей об У-наноструктурах с 2007 г. (на 2 п.п. в терминах CAGR), а университетскоцентристская политика правительства – активизировать вузовскую науку, это не повлияло сколь-либо заметно на внешние позиции страны. Тематическая структура грантов на изучение углеродных наноструктур, выданных в 2007–2011 гг. РФФИ, значительно отличается от аналогичной структуры грантов ННФ США (рис. 18), что свидетельствует о приверженности России собственному подходу в исследованиях этих объектов (с характерной специализацией, например, в области фуллеренов и ДФНУ). Очевидно, что в перспективе это способно повлиять на структуру патентуемых результатов и далее – на возможные направления коммерциализации углеродных наноструктур. Пожалуй, ни с какими из других представителей наномира не связывалось столько оптимистических надежд на революционные преобразования в экономике и других сферах человеческой жизни [15]. Об УНТ, например, говорилось, что для нанотехнологий они столь же важны, как кремний для электроники, но и в электронике потенциально способны произвести переворот. Однако реальность внесла свои коррективы и на примере углеродных наноструктур развеяла некоторые иллюзии по поводу быстрой реализации экономического потенциала НТ [5]. В десятки лет недавно оценил возможный срок становления графеновой электроники известный российский ученый А. Я. Вуль [23]. Тем не менее продолжающиеся исследования способны подсказать пути преодоления существующих в настоящее время технологических, экономических, экологических и других трудностей и барьеров для широкого применения этих замечательных наноструктур. Россия могла бы участвовать в международной конкуренции, делая ставку, по мнению А. Я. Вуля [23], на оригинальные способы производства дешевых фуллеренов и УНТ, производство и применение наноалмазов, нанопористого углерода. Для этого требуется поддерживающая политика, при выработке которой необходимо в том числе учитывать отмеченные мировые тенденции.

Приложение 6

Характеристика поддержки статей об У-наноструктурах научными фондами Швейцарии, Сингапура, Германии и Южной Кореи

Characteristics of U-nano articles support by scientific foundations of Switzerland, Singapore, Germany and South Korea

Научные фонды семи стран (рис. 16 и Пб.1) в разной степени поддерживают исследования в области: от 18% статей об У-наноструктурах, поддержанных сингапурским, до 70% – китайским фондами в 2015 г. По доле грантовой поддержки и последующей цитируемости производимых статей (рис. 17 и Пб.2) первый является наиболее «элитарным», а второй – наиболее «демократичным» среди рассмотренных национальных научных фондов. Вместе с тем нельзя не отметить общее снижение в последние годы вклада

фондов (за исключением ГФЕН) в национальное производство статей об У-наноструктурах, что может, отчасти, свидетельствовать о возрастании их прикладной направленности. Добавим, что несколько «необычное» поведение графиков для НИФК (рис. Пб.1 и Пб. 2) объясняется тем, что он был основан в 2009 г. как организация, объединившая Корейский научно-технический фонд, Корейский исследовательский фонд и Корейский фонд по международному сотрудничеству в сфере науки и технологий.

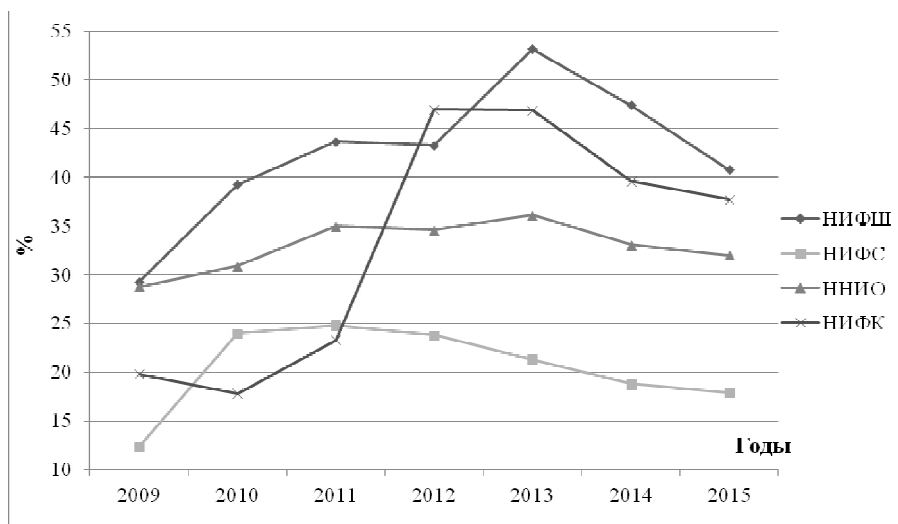


Рис. Пб.1. Динамика доли статей об У-наноструктурах, выполненных при поддержке национальных научных фондов (НИФШ – Научно-исследовательский фонд Швейцарии; НИФС – Научно-исследовательский фонд Сингапура; ННИО – Немецкое научно-исследовательское общество; НИФК – Национальный исследовательский фонд Кореи).

Fig. S6.1. Share dynamics of U-nano articles supported by national scientific foundations (NIFSH – Swiss Research Foundation, NIFS – Singapore Research Foundation, NNIO – German Research Society, NIFK – National Research Foundation of Korea)

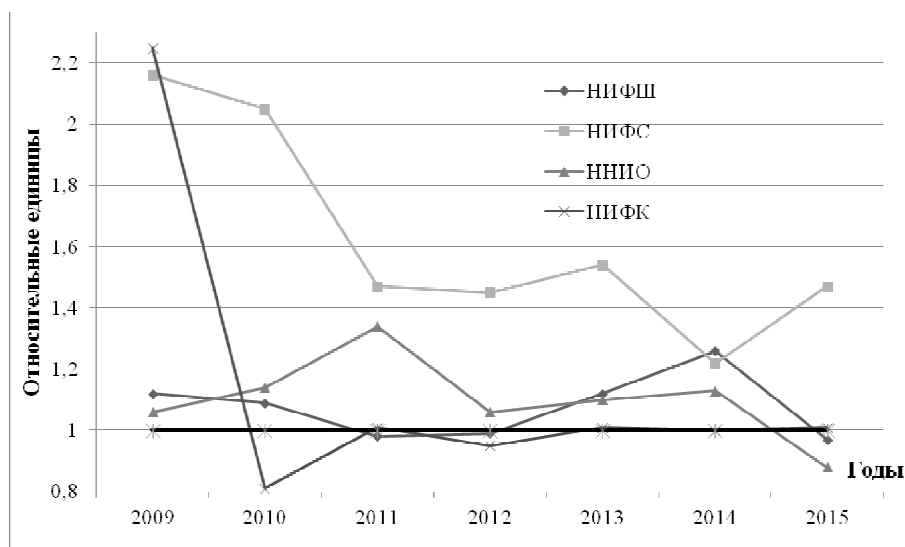


Рис. Пб.2. Относительный показатель цитируемости статей об У-наноструктурах, поддержанных национальными научными фондами: горизонтальная жирная линия соответствует среднему уровню для конкретной страны

Fig. S6.2. The relative citation index of U-nano articles supported by national scientific foundations: the horizontal bold line corresponds to an average level for a particular country

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Noorden R. Chemistry: the trial of new carbon // Nature. 2011. Vol. 469, № 7328. P. 14–16.
- Терехов А.И. Анализ процессов развития нанотехнологии (на примере углеродных наноструктур) // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45, № 3. С. 12–27.
- Tijssse R. J. W., Visser M. S., Van Leeuwe T. N. Benchmarking international scientific excellence: are highly cited research papers an appropriate frame of reference? // Scientometrics. 2002. Vol. 54, № 3. P. 381–397.
- Terekhov A. I. Bibliometric spectroscopy of Russia's nanotechnology: 2000–2014 // Scientometrics. 2017. Vol. 110, № 3. P. 1217–1242.
- Вуль А. Я., Соколов В. И. Исследования нанотрубок в России: от фуллеренов к нанотрубкам и нанодiamondам // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2, № 3/4. С. 17–30.
- Вуль А. Я. Россия еще может стать лидером в углеродных нанотехнологиях. РИАНаука. 2017. URL: <https://ria.ru>

/science/20170204/1487065126.html (дата обращения: 24.07.2017).

24. Терехов А. И. О формировании научной базы нанотехнологии: опыт наукометрического анализа с использованием исследовательских проектов // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2, № 11/12. С. 11–18.
25. Kroto H. W. Carbon in nano and outer space // *Nanotek & Expo: 4th Intern Conf.* (Dec. 1–3, 2014). [S. I.], 2014. URL: www.omicsonline.org/2157-7439/2157-7439.S1.016-001.pdf (accessed 24.07.2017).

References

5. Noorden R. Chemistry: the trial of new carbon. *Nature*, 2011, 469 (7328), 14–16.
15. Terekhov A. I. Analysis of the nanotechnology development processes (a case of carbon nanostructures). *Ekonomika i matematicheskie metody*, 2009, 45 (3), 12–27. (In Russ.).
17. 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*, 2012, 54 (3), 381–397.

18. Terekhov A. I. Bibliometric spectroscopy of Russia's nanotechnology: 2000–2014. *Scientometrics*, 2017, 110 (3), 1217–1242.
22. Vul' A. Ya., Sokolov V. I. Studies of nanocarbon in Russia: from fullerenes to nanotubes and nanodiamonds. *Rossiyskie nanotekhnologii*, 2007, 2 (3/4), 17–30. (In Russ.).
23. Vul' A. Ya. Russia can still become a leader in carbon nanotechnology. *RIANauka*. 2017. URL: <https://ria.ru/science/20170204/1487065126.html> (accessed 24.07.2017).
24. Terekhov A. I. On the formation of the scientific basis of nanotechnology: the experience of scientometric analysis using research projects. *Rossiyskie nanotekhnologii*, 2007, 2 (11/12), 11–18. (In Russ.).
25. Kroto H. W. Carbon in nano and outer space. *Nanotek & Expo: 4th Intern Conf.* (Dec. 1–3, 2014). [S. I.], 2014 URL: <https://www.omicsonline.org/2157-7439/2157-7439.S1.016-001.pdf> (accessed 24.07.2017).

Материал поступил в редакцию 18.09.2017 г.

Сведения об авторе: Терехов Александр Иванович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прикладной эконометрики ЦЭМИ РАН