А.И. ТЕРЕХОВ,
к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Центрального экономико-математического института РАН, г. Москва, Россия, a.i.terekhov@mail.ru

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО НАПРАВЛЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: 2000–2015[1]

УДК 001

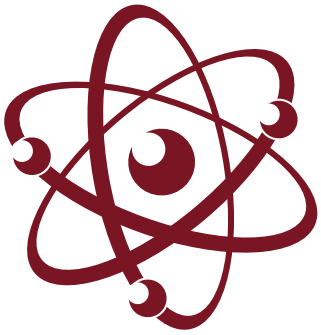
Терехов А.И. ***Библиометрический анализ углеродного направления нанотехнологий: 2000–2015***
(Центральный экономико-математический институт РАН, г. Москва, Россия)

Аннотация. Углеродные наноструктуры – важная часть нанотехнологий, ставших первой глобальной научно-технологической инициативой 21-го века. В статье представлен библиометрический анализ развития углеродного направления НТ в период 2000–2015 гг., включая международный аспект. Источником информации послужила политематическая база данных Science Citation Index Expanded. Показан сдвиг центра мировых исследований в азиатский регион, как по объемным, так и по качественным индикаторам; изучена динамика научного влияния двух групп стран: условно «старожилов» и «новичков». Учитывая сильную скошенность распределений цитируемости, предпочтение при анализе отдано индикаторам, основанным на процентилях, таким, например, как: вклад стран в мировой топ-10% (топ-1%) наиболее высоко цитируемых публикаций, процент таких публикаций в общем выходе данной страны, индекс высоко цитируемых публикаций и др. Опираясь на них, полнее раскрыто научное «наступление» стран-«новичков» на страны-«старожилы» (например, Китая на США, Южной Кореи на Германию, Ирана на Россию), феномен Сингапура как эффективного производителя высокоцитируемых публикаций по тематике углеродных наноструктур. Более подробно изучены позиции России, установлены основные отечественные участники исследований, на основе библиометрических критериев идентифицирован центр научного совершенства в области графена.

Ключевые слова: *углеродные наноструктуры, библиометрический анализ, индикаторы, основанные на процентилях, центр научного совершенства, страна-«новичок», страна-«старожил», научное влияние.*

DOI 10.22394/2410-132X-2017-3-4-262-274

Цитирование публикации: Терехов А.И. (2017) Библиометрический анализ углеродного направления нанотехнологий: 2000–2015 // Экономика науки. Т. 3. № 4. С. 262–274.



Углеродные наноструктуры – важная составляющая нанотехнологий (НТ), с которой связаны два нобелевских открытия (фуллеренов в 1985 г. и графена в 2004 г.), а также не менее резонансное открытие углеродных нанотрубок (УНТ) в 1991 г. Статьи, сообщающие об открытии УНТ и графена [1, 2], входили на март 2017 г. в первую сотню самых цитируемых публикаций в базе данных Science Citation Index Expanded (БД SCIE), занимая 17-е и 20-е место соответственно. Статья об открытии фуллерена C_{60} [3] – 113-ая по цитируемости. Более 21% всех нанопубликаций в упомянутой БД посвящены углеродным наноструктурам, которые входят в повестку дня трех основных секторов экономики (наноэлектроника, нанобиотехнология, наноэнергетика), где ожидается реализация потенциала НТ.

«Звездной триаде» (фуллерены – УНТ – графен) или отдельным ее представителям уделено внимание в целом ряде зарубежных наукометрических исследований [4–12]. Они исследовались

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16–06–00009).

© А.И.Терехов, 2017 г.

и в соответствующей отечественной литературе [13–15]. В настоящей статье в число анализируемых объектов включены наноалмазы и другие формы наноуглерода (ДФНУ): нанопористый углерод, нанографит, нановолокна и т. д. – что позволяет более полно представить развитие углеродного направления НТ, уточнить и актуализировать библиометрические оценки по России и ряду выбранных стран. В центре внимания статьи – объем и воздействие производимых публикаций, международное соавторство. Использование индикаторов, основанных на процентилях, соответствует современным трендам при анализе цитируемости.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В качестве источника информации для настоящего анализа использована БД SCIE (на платформе Web of Knowledge) – наиболее авторитетная в мире политематическая БД, содержащая библиографические сведения о научных публикациях в рецензируемых журналах. Исходная выборка – 139670 публикаций (статей, обзоров, писем) за период 2000–2015 гг. – получена путем поиска по релевантным ключевым словам в названиях работ. Эта выборка (элементы которой будем именовать в дальнейшем У-нано статьями) использована для макроанализа на уровне стран и их блоков. Чтобы показать наиболее важные изменения в международном исследовательском ландшафте и охарактеризовать позиции России, мы выбрали, кроме нее, 11 стран: пять западных (США, Японию, Германию, Францию и Великобританию); два восходящих азиатских гиганта (Китай и Индию); три азиатских тигра (Южную Корею, Сингапур и Тайвань) и, наконец, быстро прогрессирующий в последние годы Иран. В отдельных сопоставлениях будут участвовать также ЕС-28, условный блок стран «АЗИЯ-7» (Индия, Иран, Китай, Сингапур, Тайвань, Южная Корея и Япониия), страны Северной Америки (США, Канада, Мексика). С учетом продолжительности участия в исследовании углеродных наноструктур пять западных стран и Россию (группа G_1) условно отнесем к «старожилам», а остальные шесть стран (группа G_2) – к «новичкам». 5825 У-нано статей с российской аффиляцией обеспечили данные для более детального анализа вклада и воздействия отечественных институтов и ученых.

Сервисы платформы Web of Knowledge позволяют получать традиционные индикаторы (число публикаций и цитат, среднее количество цитат на одну публикацию и т. д.) для различных подмножеств исходной выборки. Мы используем их, а также другие расчетные индикаторы: среднегодовой темп роста (Compound Annual Growth Rate – CAGR), долю цитат данной страны, относительный показатель цитирования и т. д. Ввиду сильной скошенности распределений цитируемости, для ее анализа более предпочтительны показатели, основанные на процентилях. В статье рассмотрены топ-1% и топ-10% сегменты наиболее высокоцитируемых публикаций в области; используются связанные с ними индикаторы, например: доля страны в элитной части мировой научной литературы, индекс высокоцитируемых публикаций, который для сегмента топ-10% определяется как:

$$HCI_{топ\text{-}10\%} \equiv PP_{топ\text{-}10\%} / 10,$$

где $PP_{топ\text{-}10\%}$ – процент высокоцитируемых публикаций в общем выходе тематических публикаций данной страны (наблюдаемое значение); 10 – процент таких публикаций в общемировом выходе (ожидаемое значение). По определению [16], если такое соотношение больше 1, то данная страна лучше «мира» как производитель высокоцитируемых (в сегменте топ-10%) публикаций и, наоборот. Для сегмента топ-1% данный индекс определяется аналогично.

При изучении участия России в указанных сегментах внимание сосредоточено на выявлении высококачественных исследований, элитных ученых и аффилирующих их институтов, а также проверке библиометрических критериев на принадлежность к центрам научного совершенства (ЦНС).

Далее приведены основные результаты анализа, выводы и обсуждение.

ИЗМЕНЕНИЕ МИРОВОГО НАУЧНОГО ЛАНДШАФТА И ВЛИЯНИЯ СТРАН

Углеродные наноструктуры – одна из наиболее быстрорастущих областей исследований, которая по CAGR за последние 7 лет (~14%) обгоняет нанотехнологии в целом (~12%). По количеству цитат на статью она превосходит средний для НТ уровень, более чем на 23%, что говорит и о ее высокой конкурентности. В силу разных темпов роста отдельных стран и их блоков в структуре мирового лидерства в области произошли важные изменения *(рис. 1)*. По объему производства У-нано статей Китай в 2008 г. прервал доминирование США, в 2010 г. обошел ЕС-28, а в 2014 г. и ЕС-28 вместе с Северной Америкой. Вообще же, мировой тренд в исследованиях углеродных наноструктур с 2008 г. стал определять блок азиатских стран («Азия-7»), на долю которого в 2015 г. приходилось около 68% всех производимых в мире У-нано статей. Более детальную картину дает *табл. 1*, согласно которой в рассматриваемый период все страны-«старожилы» росли с темпом ниже, а «новички» выше среднемирового. Можно выделить впечатляющий результат Ирана за короткий промежуток времени и сильное замедление Японии, которая в последние 7 лет росла со среднегодовым темпом в 47 раз ниже общемирового. Интересно, что в отличие от ситуации в НТ в целом [17], CAGR количества российских У-нано статей несколько вырос после принятия «Стратегии развития наноиндустрии» в 2007 г. (с 5,8% в 2000–2007 гг. до 7,9% в 2007–2015 гг.). Однако это хотя и свидетельствует об относительно большем потенциале страны в данной подобласти НТ, оказалось недостаточным, чтобы заметно повлиять на улучшение ее внешних позиций. Разные темпы роста привели к значительному перераспределению конкурентной доли стран и изменению их положения в рейтинге по производству У-нано статей, причем все «старожилы» понесли потери, а «новички» выиграли *(табл. 1)*. На обозримый период лидерство Китая неоспоримо, поскольку ближайший преследователь (США) отстает от него по вкладу в мировой публикационный выход на 26 процентных пункта (п.п.).

Научное влияние страны определяют не только количество или доля публикаций,

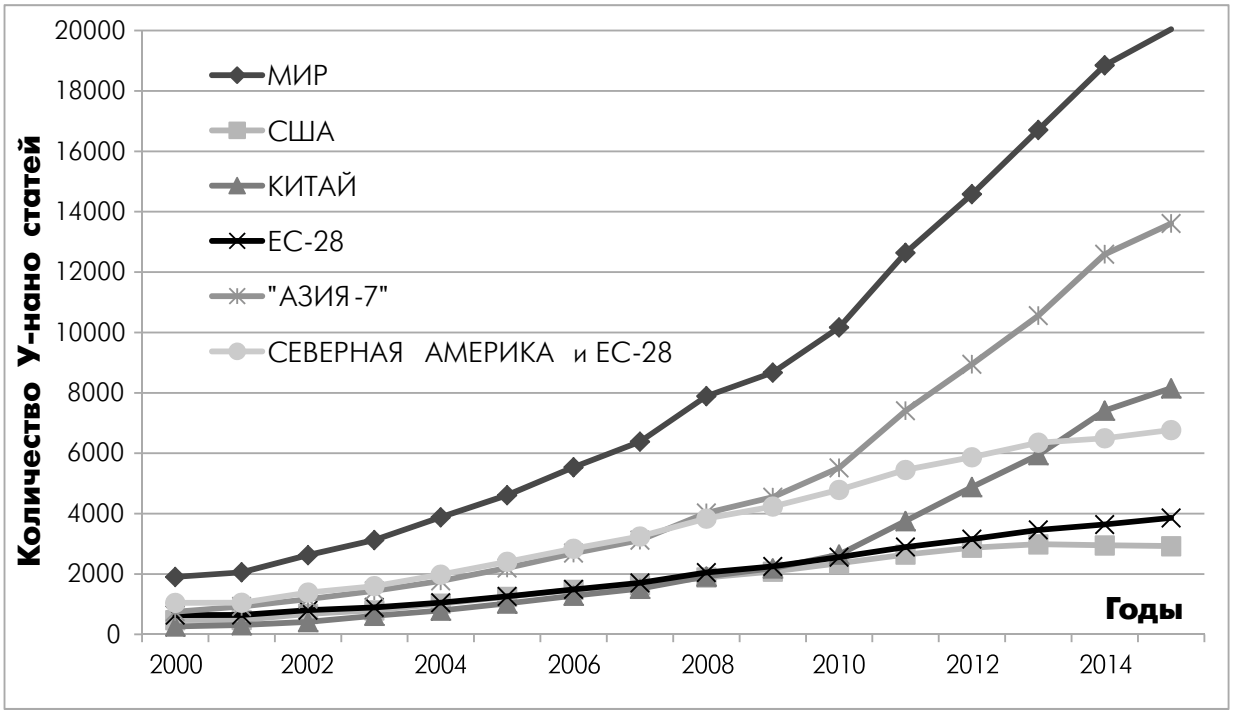


Рис. 1. **Рост выхода У-нано статей: в мире и по странам / группам стран**

Таблица 1

Относительные показатели и ранжирование стран из $G_1 \cup G_2$ по производству У-нано статей

Страна	Относительные показатели		
	Показатель относительного роста[а]	Конкурентная доля в мировом выходе У-нано статей	Ранг страны по производству У-нано статей
США	0.76	24.9 ↓ 14.6[в]	1 ↓ 2
Германия	0.68	8.0 ↓ 3.9	5 ↓ 7
Франция	0.51	7.5 ↓ 2.5	6 ↓ 13
Великобритания	0.82	5.5 ↓ 3.7	7 ↓ 8
Россия	0.41	11.6 ↓ 3.0	4 ↓ 9
Япония	0.39	20.1 ↓ 4.6	2 ↓ 6
Китай	1.51	13.9 ↑ 40.7	3 ↑ 1
Индия	1.65	1.7 ↑ 6.5	17 ↑ 4
ЮжнаяКорея	1.63	2.4 ↑ 9.0	11 ↑ 3
Иран	2.47[б]	– ↑ 5.8	– ↑ 5
Тайвань	1.13	1.8 ↑ 2.4	15 ↑ 14
Сингапур	1.29	1.2 ↑ 2.3	23 ↑ 15

Примечания: *[а]Рассчитан как отношение CAGR конкретной страны в течение 2000–2015 гг. к CAGR всего мира в течение того же периода. [б]Из-за нулевой базы в 2000 г. показатель для Ирана был рассчитан за период 2008–2015 гг. [в]Стрелка показывает рост или уменьшение соответствующего показателя между 2000 и 2015 гг.*

важную роль играет их качество, которое в наукометрии часто измеряют цитируемостью. Действуя по аналогии с [18], примем в качестве прокси-показателя научного влияния долю цитат, полученных статьями, среди авторов которых есть представители данной страны. Пусть N_{jt} – количество научных статей, опубликованных страной j в году t в рассматриваемой области, а C_{jt} – количество полученных ими цитат. Тогда научное влияние страны j в году t определим как:

$$\{\text{Научное влияние}\}_{jt} \equiv C_{jt} / C_t \equiv (N_{jt} / N_t) \times \times [(C_{jt} / N_{jt}) / (C_t / N_t)], \quad (1)$$

где $N_t = \Sigma_j(N_{jt})$, $C_t = \Sigma_j(C_{jt})$. Выражение в квадратных скобках представляет собой относительный показатель цитирования статей, опубликованных j-й страной в t-м году. Применив к (1) логарифмическое дифференцирование, получим выражение для темпов роста:

$$\%\Delta\{\text{Научное влияние}\}_{jt} \equiv \equiv \%\Delta\{\text{Доля статей}\}_{jt} + + \%\Delta\{\text{Относительный показатель цитирования}\}_{jt}. \quad (2)$$

Первый фактор в правой части (2) будем интерпретировать как «количество» исследований данной страны, второй – как ее академический «импакт». Таким образом, принятая мера научного влияния позволяет соотнести, насколько изменения влияния страны со временем связаны с изменениями в «количестве» и «импакте» ее исследований.

Первая строка *табл. 2*, например, показывает: в период 2000–2007 гг. научное влияние США снизилось на 34,5% и могло бы снизиться на 37,3% из-за уменьшения импакта национальных статей, если бы одновременно их доля не выросла на 2,8%. В период 2007–2014 гг. влияние страны упало еще больше (на 65,5%), но теперь уже, в первую очередь, из-за уменьшения доли статей. Согласно *табл. 2* во второй период все страны-«старожилы» снизили, а «новички», напротив, повысили свое научное влияние, причем первые (исключая Японию) за счет ухудшения, а вторые (исключая Тайвань) за счет улучшения как в количестве, так и импакте производимых статей. У Японии вырос импакт, а у Тайваня слегка снизилась доля статей. Таким образом, «новички» продемонстрировали не только количественный, но

Таблица 2

Декомпозиция научного влияния стран из $G_1 \cup G_2$ (согласно уравнению (2))

Страны	Процентное изменение результирующего и факторных показателей					
	Изменение (2000–2007 гг.), %			Изменение (2007–2014 гг.), %		
	«научного влияния»	«количества»	«импакта»	«научного влияния»	«количества»	«импакта»
США	-34.5	+2.8	-37.3	-65.5	-49.1	-16.4
Германия	+50.4	-9.6	+60.0	-68.4	-52.8	-15.6
Франция	-56.2	-59.3	+3.1	-46.9	-38.8	-8.1
Великобритания	+98.1	-14.7	+112.8	-118.4	-33.6	-84.8
Россия	-24.6	-81.1	+56.5	-68.5	-60.0	-8.5
Япония	-62.0	-47.1	-14.9	-52.5	-77.0	+24.5
Китай	+92.5	+53.7	+38.8	+108.5	+50.6	+57.9
Индия	-10.9	+46.7	-57.6	+105.6	+78.6	+27.0
Южная Корея	-17.8	+96.8	-114.6	+72.0	+33.1	+38.9
Иран	—	—	—	+176.9	+165.5	+11.4
Тайвань	+83.1	+50.8	+32.3	+3.8	-8.5	+12.3
Сингапур	+68.0	+29.0	+39.0	+102.4	+43.3	+59.1

и качественный рост. Китай и Сингапур поступательно наращивали влияние на протяжении обоих периодов, причем Сингапур – преимущественно за счет повышения импакта производимых У-нано статей. Индия и Южная Корея, несмотря на значительный рост объема национальных исследований в первом периоде, все же снизили свое влияние из-за сильного падения их воздействия. Однако во втором периоде обеим странам удалось отыграть влияние, причем Южная Корея добилась этого преимущественно за счет повышения импакта своих публикаций. Количественный рост, в первую очередь, определил успех поздно стартовавшего Ирана, хотя определенный вклад в него внесло и повышение академического импакта *(табл. 2)*.

Динамика научного влияния стран-«старожилов» также варьируется и может быть связана, например, с важными событиями в исследовании углеродных наноструктур. Так, Великобритания рекордно увеличила свое влияние в первом периоде, благодаря (вероятно) участию в высокоцитируемых публикациях по графену, однако затем не смогла удержать преимущества, уступив более активным соперникам. Германия и Россия также имели значительный рост импакта в первом периоде, однако в случае России он был перекрыт падением доли публикуемых У-нано статей. Во втором периоде обе страны практически на одинаковый процент снизили свое влияние, причем Россия почти полностью за счет уменьшения доли статей. Этот фактор стал также главным для поэтапного снижения научного влияния Франции *(табл. 2)*.

Таким образом, главный тренд в современном развитии исследований углеродных наноструктур, может быть кратко выражен как научное «наступление» Востока на Запад. Однако во многих случаях производство публикаций с более высоким воздействием может быть важнее, чем просто производство большего числа статей, поэтому далее обратимся к элитной части научной литературы.

ТОП-1% И ТОП-10% НАИБОЛЕЕ ВЫСОКОЦИТИРУЕМЫХ У-НАНО СТАТЕЙ

Важным показателем научной конкурентоспособности страны является ее вклад в элитную часть научной литературы, куда можно отнести топ-1% и топ-10% наиболее высокоцитируемых публикаций. Наш расчет выполнен по состоянию на 4 ноября 2016 г.; ввиду разных уровней цитирования отбор статей в указанные сегменты проводился по подобластям в порядке: графен, УНТ, фуллерены,

Таблица 3

Вклад стран $G_1 \cup G_2$ в высокоцитируемые У-нано статьи, 2000–2014

Страна	Доля У-нано статей в топ-10% сегменте, %	Доля У-нано статей в топ-1% сегменте, %	Страна	Доля У-нано статей в топ-10% сегменте, %	Доля У-нано статей в топ-1% сегменте, %
США	34.7	44.2	Китай	33.5	30.4
Германия	7.4	9.1	Южная Корея	6.2	5.9
Япония	8.0	6.3	Сингапур	3.9	5.3
Великобритания	5.7	7.8	Индия	2.5	1.8
Франция	3.8	4.2	Тайвань	2.2	1.7
Россия	1.2	1.0	Иран	2.1	0.7

ДФНУ, наноалмазы. Согласно *табл. 3* по вкладу в топ-1% и топ-10% сегменты У-нано статей США превосходят другие страны суммарно за весь период. Однако в последние годы страны-«новички» начинают обгонять «старожилов» по этому показателю, например: Китай – США, Южная Корея – Германию, Иран – Россию *(рис. 2)*. Интересно, что Сингапур, имеющий небольшую долю в мировом выходе У-нано статей, в последние годы последовательно опередил Францию, Великобританию и Японию по их вкладу в элитную часть *(рис. 3)*. Начиная с 2012 г., Китай опередил США, а Сингапур – три названные страны и в топ-1% сегменте.

Поскольку масштабы национальных исследовательских систем сильно различаются, при их сравнении важно учитывать не только наблюдаемые числа высокоцитируемых публикаций, но и ожидаемые. В библиометрии

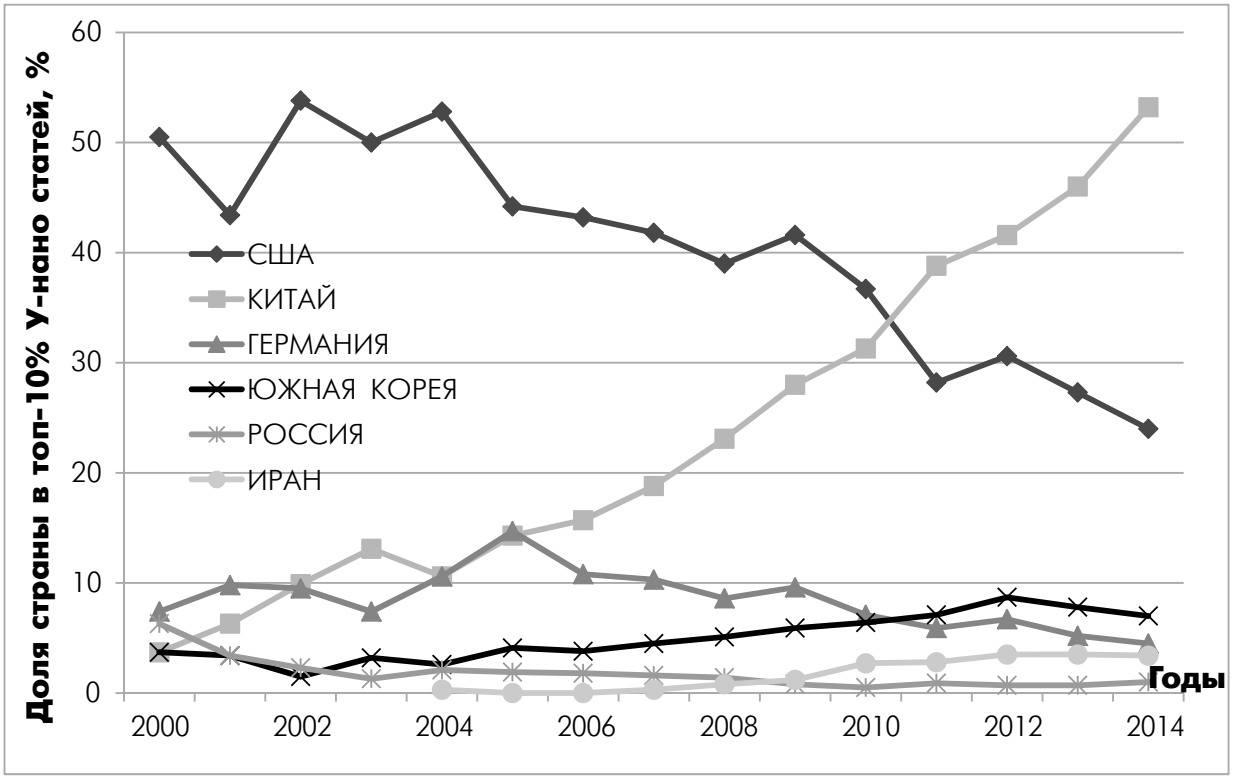


Рис. 2. **Сравнение стран по их вкладу в топ-10% сегмент У-нано статей (США и др.)**

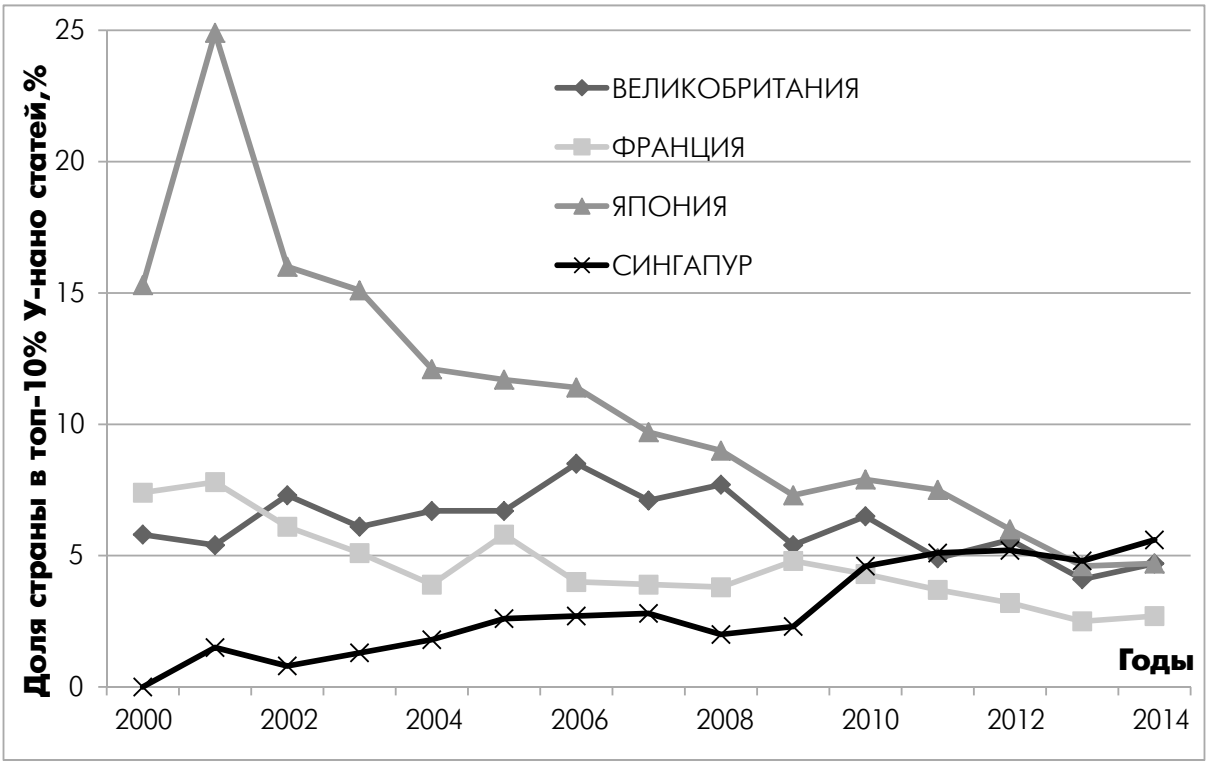


Рис. 3. **Сравнение стран по их вкладу в топ-10% сегменте У-нано статей (Великобритания и др.)**

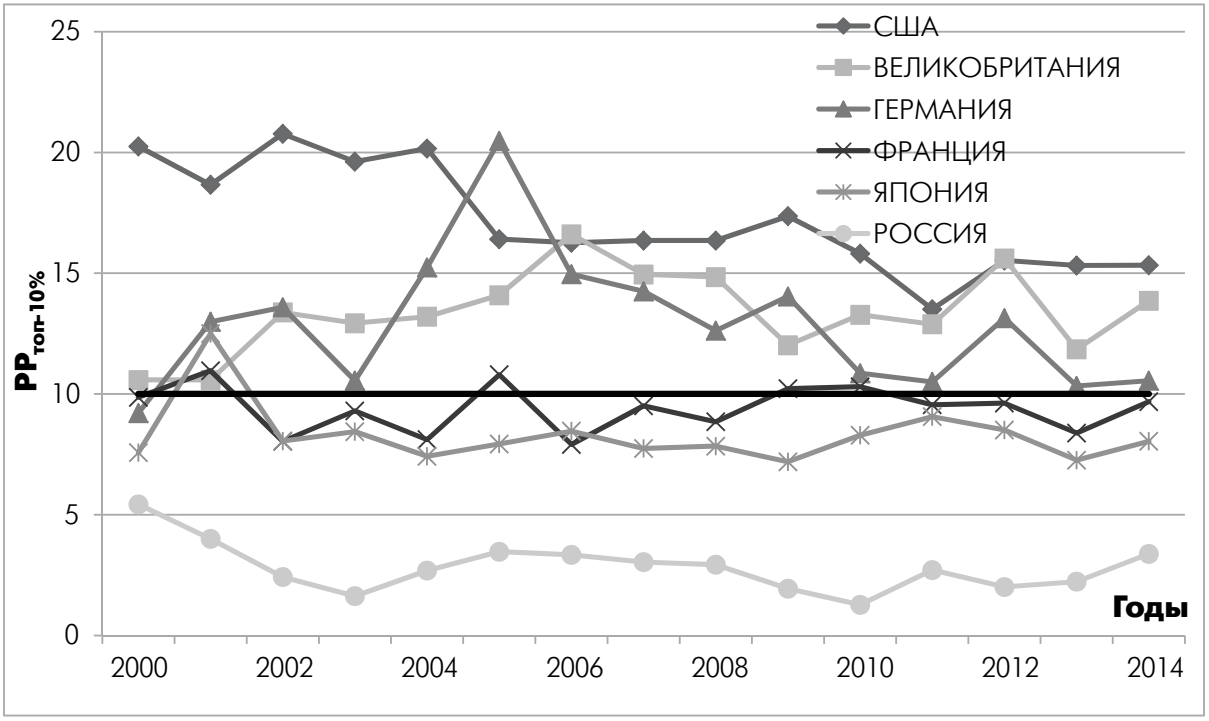


Рис. 4. **Фактический процент У-нано статей данной страны (из G_1), вошедших в мировой топ-10% сегмент, по годам (горизонтальная линия показывает ожидаемое значение в 10%)**

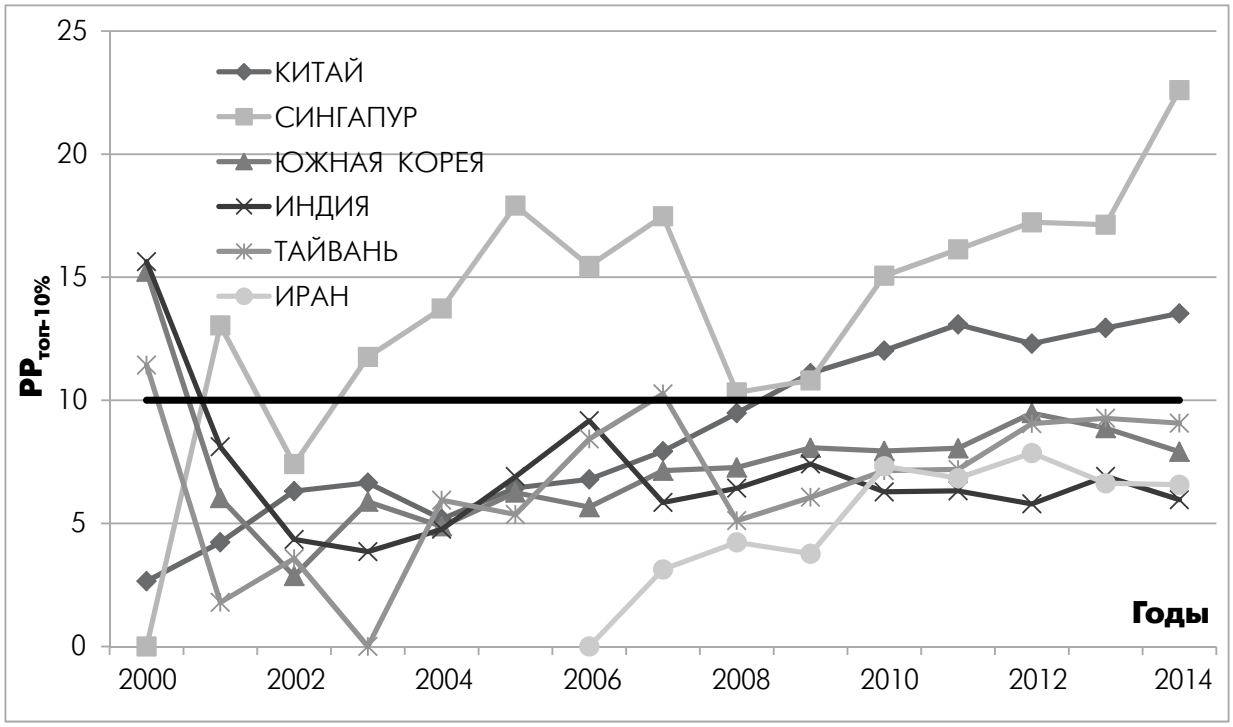


Рис. 5. **Фактический процент У-нано статей данной страны (из G_2), вошедших в мировой топ-10% сегмент, по годам**

для этого используют пропорцию публикаций, например, в топ-10% сегменте ($PP_{топ\text{-}10\%}$) и сравнивают ее наблюдаемые значения для каждой страны с ожидаемым, т.е. с 10% [16]. Если такое соотношение $HCI_{топ\text{-}10\%} > 1$, то данная страна лучше «мира» как производитель высокоцитируемых статей и наоборот. То же самое для сегмента топ-1%. Эти индексы позволяют более адекватно сравнивать разные страны. На *рис. 4 и 5* показана динамика $PP_{топ\text{-}10\%}$ относительно ожидаемого значения для разных стран. Согласно рисункам происходит ослабление позиций трех ключевых игроков из G_1 как эффективных производителей элитных публикаций в области, что особенно очевидно для Германии. Напротив, Сингапур и Китай повышают свою эффективность; причем, если для Китая это – длительный устойчивый подъем, то Сингапур продемонстрировал быстрый рост после 2008 г., благодаря которому с 2011 г. он стал лучшим производителем элитных У-нано статей (что относится и к топ-1% сегменту). Франция постоянно находится вблизи ожидаемого 10%-го уровня, а Тайвань максимально приблизился к нему в последние годы. Южная Корея также продемонстрировала восходящую тенденцию; остальные же страны из $G_1 \cup G_2$ располагаются значительно ниже «ватерлинии». Для наименее эффективной среди них России можно отметить лишь слегка наметившиеся признаки подъема в последние три года.

ОСНОВНЫЕ РОССИЙСКИЕ УЧАСТНИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение углеродных наноструктур в России имеет свои исторические вехи, связанные, порой, с опережающими достижениями советских и российских ученых [19, 20]. Однако в редких случаях они были вовремя поддержаны научными властями страны. Это произошло, например, когда в ответ на мировой «фуллереновый бум» в начале 1990-х гг. в рамках ГНТП «Физика конденсированных сред» было учреждено направление «Фуллерены и атомные кластеры», поддержавшее развитие науки о фуллеренах в стране. Этому способствовала также деятельность созданного в 1992 г. РФФИ, значительное количество грантов которого выделялось на

изучение фуллеренов и их производных [21]. Такая поддержка в немалой степени позволила углеродным наноструктурам стать в дальнейшем одним из важнейших компонентов отечественной нанотехнологической программы. Как результат, Россия остается в Топ 10 наиболее продуктивных в данной подобласти стран *(табл. 1)*, тогда как в области НТ она покинула первую десятку в 2011 г. [17].

Обратимся к внутреннему ландшафту проводимых исследований, основными институциональными участниками которых выступают представители академического и ВУЗовского секторов. *Табл. 4*, в целом, подтверждает доминирование институтов РАН по объемным и качественным показателям. Особняком стоит Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (ИПТМ РАН), 19 и 6 работ которого входят в топ-10% и топ-1% высокоцитируемых У-нано статей, соответственно. Можно также отметить, что в мировом рейтинге РАН занимает третье место вслед за Китайской академией наук и Национальным центром научных исследований Франции; МГУ же лишь на 105-м месте среди университетов. Вместе с тем, есть и определенные успехи университето-центристской политики, проводимой в последние годы научными властями страны. Так, если в российский Топ-10 по продуктивности в 2000–2007 гг. входили лишь два университета – МГУ и СПбГУ, – то в последние годы к ним добавились МФТИ и СПбПУ *(табл. 4)*. В 2012–2014 гг. в десятку наиболее продуктивных ученых в области, наряду с представителями РАН, вошло по одному представителю из МГУ, Волгоградского государственного университета и Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.

Рассмотрение высокоцитируемых публикаций позволяет выделить когорту отечественных ученых, работающих на мировом уровне

Таблица 4

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

Ранг	*Организация*	*Число У-нано статей*	*Среднее число ссылок на одну статью*	*Число У-нано статей 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	НИЦ «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 СО 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

Примечание: **) Данные этого столбца относятся к периоду 2000–2014 гг.*

Таблица 5

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

ФИО	*Институт*	*Направление исследований*	*Число У-нано статей в топ-10% / топ-1% сегментах*
1. Морозов С.В.	ИПТМ РАН	Графен	18 / 6
2. Попов А.А. Д.В.[1]	МГУ	Фуллерены	10 / -
3. Болталина О.В.[2]	МГУ	Фуллерены	9 / -
4. Любовская Р.Н.	ИПХФ РАН	Фуллерены	7 / 1
5. Образцова Е.Д.	ИОФ РАН	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	ДФНУ	4 / -

Примечания: *[1] В настоящее время работает в Университете штата Колорадо (США). [2] В настоящее время работает в Институте физики твердого тела и материалов им. Лейбница (Германия).*

в рассматриваемой области. Всего около 250 ученых (из более чем 50-ти российских НИИ, университетов и компаний) внесли вклад в топ-10% У-нано статей в период 2000–2014 гг. Лучшие из них представлены в *табл. 5*, причем шестеро из двенадцати 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 [16], 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 по графену. 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 [16]. Дальнейшее сравнение этих наблюдаемых значений с ожидаемыми может более адекватно отражать уровень международного совершенство. В нашем случае $HCI_{топ\text{-}1\%}$ = 7,4 и $HCI_{топ\text{-}10\%}$ = 1,9, т.е. в статистических терминах рассматриваемое подразделение РАН может быть признано ЦНС мирового класса в области графена в период 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 и в целом отметить важную роль международного сотрудничества для вхождения в мировую научную лигу. Так, 85% российских У-нано статей в топ-10% сегменте были написаны в соавторстве с учеными из 29

стран (для топ-1% сегмента аналогичный показатель составляет 100%). Наиболее часто соавторами выступают ученые из Германии (27,7% статей), США (27,0%) и Великобритании (20,6%). На долю Китая приходится, например, всего 5%.

ВЫВОДЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По мнению нобелевского лауреата Г. Крото, открытие фуллеренов в 1985 г., а затем УНТ в 1991 г. катализировало рождение нанонауки и нанотехнологий [22]. Как бы то ни было, бум углеродных наноструктур стартовал за десять лет до начала принятия национальных нанотехнологиеских программ десятками стран (вслед за США), поэтому некоторые его результаты показательны для развития НТ в целом.

Выполненный анализ прежде всего показал сдвиг в Азию мирового центра в изучении углеродных наноструктур, причем как по объему проводимых исследований, так и их возрастающему научному влиянию. Китай стал практически недосягаем по количеству ежегодно производимых У-нано 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 У-нано статей, чем Германия. К феномену Сингапура можно добавить и его лидерство с 2011 г. как эффективного производителя высокоцитируемых У-нано статей (согласно пропорциям $PP_{топ\text{-}10\%}$ и $PP_{топ\text{-}1\%}$). 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». Примером достижений «новичков» второй волны, является стремительное восхождение Ирана в Топ-10 стран по количеству производимых У-нано статей.

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, 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), обязаны, 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 соавторскими 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 на глобальный и ее характерной специализации в подобластях наноалмазов и фуллеренов, что работало на снижении цитируемости (в среднем) ее У-нано статей. Хотя «Стратегия развития наноиндустрии» смогла увеличить поток российских У-нано статей с 2007 г. (на 2 п.п. в терминах CAGR), а университето-центристская политика правительства – активизировать вузовскую науку, это не повлияло сколь-либо заметно на внешние позиции страны.

Пожалуй, ни с какими из других представителей наномира не было связано столько оптимистических ожиданий 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 оценил недавно возможный срок становления графеновой электроники известный российский ученый А.Я. Вуль [20]. 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 [20], 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 сдвиги.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Iijima S.* (1991) Helical microtubules of graphitic carbon//Nature. V. 354(6348). P. 56–58.
2. *Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A.* (2004) Electric field in atomically thin carbon films//Science. V. 306(5296). P. 666–669.
3. *Kroto H.W., Heath J.R., O'Brein S.C., Curl R.F., Smalley R.E.* (1985) C60: buckminsterfullerene//Nature. V. 318(6042). P. 162–163.
4. *Plume A.* (2010) Buckyballs, nanotubes and graphene: on the hunt for the next big thing// Research Trends № 18. P. 5–7.
5. *Noorden R.* (2011) Chemistry: the trial of new carbon//Nature. V. 469(7328). P. 14–16.
6. *Milanez D.H., Schiavi M.T., do Amaral R.M., Faria L.I.L., Gregolin J.A.R.* (2013) Development of carbon-based nanomaterials indicators using the analytical tools and data provided by the web of science database//Materials Research. V. 16(6). P. 1282–1293.
7. *Braun T., Schubert A.P., Kostoff R.N.* (2000) Growth and trends of fullerene research as reflected in its journal literature//Chemical Reviews. V. 100(1). P. 23–38.
8. *Marx W., Barth A.* (2010) Carbon nanotubes – a scientometric study/In: Marulanda JM (ed), Carbon nanotubes. InTech Publisher, Vukovar. P. 1–17.
9. *Munoz-Sandoval E.* (2014) Trends in nanoscience, nanotechnology, and carbon nanotubes: a bibliometric approach//Journal of Nanoparticle Research. V. 16(1). P. 1–22.
10. *Barth A., Marx W.* (2008) Graphene – a rising star in view of scientometrics. http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0808/0808.3320.pdf.
11. *Lv P.H., Wang G-F., Wan Y., Liu J., Liu Q., Ma F.* (2011) Bibliometric trend analysis on global graphene research//Scientometrics. V. 88(2). P. 399–419.
12. *Plume A.* (2014) Graphene: ten years of the 'gold rush'//Research Trends. V. 38. P. 13–15.
13. Терехов А.И., Мирабян *Л.М., Мамаев В.Л.* (2002) Комплексный подход к оценке развития научного направления с использованием компьютерных баз данных//Вестник РФФИ. № 2 (28). С. 47–57.
14. *Terekhov A.I., Efremenkova V.M., Stankevich I.V., Krukovskaya N.V., Terekhov A.A.* (2006) Information resources for evaluating the development of research direction – «fullerenes»// Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. V. 14(2–3). P. 579–584.
15. *Терехов А.И.* (2009) Анализ процессов развития нанотехнологии (на примере углеродных наноструктур)//Экономика и математические методы. Т. 45(3). С. 12–27.
16. *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. V. 54(3). P. 381–397.
17. *Terekhov A.I.* (2017) Bibliometric spectroscopy of Russia's nanotechnology: 2000–2014// Scientometrics. V. 110 (3). P. 1217–1242.
18. *King, D. A.* (2004) The scientific impact of nations//Nature V. 430(6997). P. 311–316.
19. *Вуль А.Я., Соколов В.И.* (2007) Исследования наноуглерода в России: от фуллеренов к нанотрубкам и наноалмазам//Российские нанотехнологии. Т. 2(3–4). С. 17–30.
20. *Вуль А.Я.* (2017) Россия еще может стать лидером в углеродных нанотехнологиях. https://ria.ru/science/20170204/1487065126.html.
21. *Терехов А.И.* (2007) О формировании научной базы нанотехнологии: опыт наукометрического анализа с использованием исследовательских проектов // Российские нанотехнологии. Т. 2(11–12). С. 11–18.
22. *Kroto H.W.* (2014) Carbon in nano and outer space. www.omicsonline.org/2157–7439/2157–7439.S1.016–001.pdf.

REFERENCES

1. *Iijima S.* (1991) Helical microtubules of graphitic carbon//Nature. V. 354(6348). P. 56–58.
2. *Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A.* (2004) Electric field in atomically thin carbon films//Science. V. 306(5296). P. 666–669.
3. *Kroto H.W., Heath J.R., O'Brein S.C., Curl R.F., Smalley R.E.* (1985) C60: buckminsterfullerene//Nature. V. 318(6042). P. 162–163.
4. *Plume A.* (2010) Buckyballs, nanotubes and graphene: on the hunt for the next big thing// Research Trends № 18. P. 5–7.
5. *Noorden R.* (2011) Chemistry: the trial of new carbon//Nature. V. 469(7328). P. 14–16.
6. *Milanez D.H., Schiavi M.T., do Amaral R.M., Faria L.I.L., Gregolin J.A.R.* (2013) Development of carbon-based nanomaterials indicators using the analytical tools and data provided by the web of science database//Materials Research. V. 16(6). P. 1282–1293.
7. *Braun T., Schubert A.P., Kostoff R.N.* (2000) Growth and trends of fullerene research as reflected in its journal literature//Chemical Reviews. V. 100(1). P. 23–38.
8. *Marx W., Barth A.* (2010) Carbon nanotubes – a scientometric study/In: Marulanda JM (ed), Carbon nanotubes. InTech Publisher, Vukovar. P. 1–17.
9. *Munoz-Sandoval E.* (2014) Trends in nanoscience, nanotechnology, and carbon nanotubes: a bibliometric approach//Journal of Nanoparticle Research. V. 16(1). P. 1–22.
10. *Barth A., Marx W.* (2008) Graphene – a rising star in view of scientometrics. http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0808/0808.3320.pdf.
11. *Lv P.H., Wang G-F., Wan Y., Liu J., Liu Q., Ma F.* (2011) Bibliometric trend analysis on global graphene research//Scientometrics. V. 88(2). P. 399–419.
12. *Plume A.* (2014) Graphene: ten years of the 'gold rush'//Research Trends. V. 38. P. 13–15.
13. *Terekhov A.I., Mirabyan L.M., Mamayev V.L.* (2002) Comprehensive approach to the evaluation of the development of the scientific direction using computer databases // Vestnik RFFI. № 2 (28). P. 47–57.
14. *Terekhov A.I., Efremenkova V.M., Stankevich I.V., Krukovskaya N.V., Terekhov A.A.* (2006) Information resources for evaluating the development of research direction – «fullerenes»// Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. V. 14(2–3). P. 579–584.
15. *Terekhov A.I.* (2009) Analysis of the processes of development of nanotechnology (on the example of carbon nanostructures) // Economics and mathematical methods. V. 45(3). P. 12–27.
16. *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. V. 54(3). P. 381–397.
17. *Terekhov A.I.* (2017) Bibliometric spectroscopy of Russia's nanotechnology: 2000–2014// Scientometrics. V. 110 (3). P. 1217–1242.
18. *King, D. A.* (2004) The scientific impact of nations//Nature V. 430(6997). P. 311–316.
19. *Vul A. Ya., Sokolov V.I.* (2007) Studies of nanocarbon in Russia: from fullerenes to nanotubes and nanodiamonds // Russian nanotechnologies. V. 2(3–4). P. 17–30.
20. *Vul A. Ya.* (2017) Russia can still become a leader in carbon nanotechnology. https://ria.ru/science/20170204/1487065126.html.
21. *Terekhov A.I.* (2007) On the formation of the scientific basis of nanotechnology: the experience of scientometric analysis with the use of research projects // Russian Nanotechnologies. V. 2(11–12). P. 11–18.
22. *Kroto H.W.* (2014) Carbon in nano and outer space. www.omicsonline.org/2157–7439/2157–7439.S1.016–001.pdf.

UDC 001

Terekhov A.I. ***Bibliometric analysis of carbon direction in nanotechnology: 2000–2015*** *(Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)*

Abstract. Carbon nanostructures are the important component of nanotechnology (NT) become as the first global scientific and technological initiative of the 21st century. The article presents a bibliometric analysis of development of the carbon direction of NT in the period of 2000–2015, including an international dimension. The source of information was the Science Citation Index Expanded database. The shift of the world research center to the Asian region is shown, both in terms of volume and quality indicators; the dynamics of scientific influence of two groups of countries – conditionally «incumbents» and «newcomers» – has been studied. Due to the strong skewness of citation distributions, preference in the analysis is given to the percentile-based indicators, such as: the contribution of a country to the world top-10% (top-1%) segment 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 scientific «offensive» of the «newcomer» countries on the «incumbents» (eg, of China on the USA, of South Korea on Germany, of Iran on Russia) as well as phenomenon of Singapore as an effective producer of highly cited publications on the carbon nanostructures were presented more fully. The positions of Russia have been studied in more detail, the main domestic research participants have been determined, and on the basis of bibliometric criteria the center of scientific excellence in the field of graphene has been identified.

Keywords: *carbon nanostructures, bibliometric analysis, percentile-based indicators, center of scientific excellence, «newcomer» country, «incumbent» country, scientific influence.*

DOI 10.22394/2410-132X-2017-3-4-262-274