

**А.И. ТЕРЕХОВ,**

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

## ПОЯВЛЯЮЩИЕСЯ ОТВЕТВЛЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: НАНОФОТОНИКА<sup>1</sup>

УДК 001

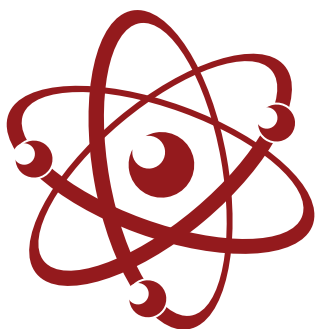
Терехов А.И. *Появляющиеся ответвления нанотехнологий: нанофотоника* (Центральный экономико-математический институт РАН, Нахимовский пр., д. 47, г. Москва, Россия, 117418)

**Аннотация.** Появляющиеся новые ответвления стали способом дальнейшего распространения нанотехнологий в 2000-е гг. Одно из них (нанофотоника), обещающее широкий спектр технологических выходов, рассматривается в настоящей статье. С помощью библиометрического анализа выявлены наиболее активные мировые игроки в области, как и основные отечественные институты, участвующие в исследованиях, дана оценка их вклада, показано позиционирование. Значительное внимание уделено анализу структуры финансирования исследований, возможной увязке научного входа и выхода. В частности, показаны: интернационализация такого финансирования как элемент глобализации исследований, сравнительная степень приоритезации нанофотоники в повестке ряда научных фондов, пример выявления наиболее влиятельных грантов путем совместного использования библиометрических данных и сведений Российского фонда фундаментальных исследований. Источником информации послужила политематическая база данных Science Citation Index Expanded, а также сведения, полученные через веб-порталы Российского фонда фундаментальных исследований и Национального научного фонда США.

**Ключевые слова:** нанофотоника, научная публикация, библиометрический анализ, финансирующая организация, научный фонд, исследовательский грант.

DOI 10.22394/2410-132X-2018-4-4-297-308

**Цитирование публикации:** Терехов А.И. (2018) Появляющиеся ответвления нанотехнологий: нанофотоника // Экономика науки. Т. 4. № 4. С. 297–308.



Рост и распространение нанотехнологий (НТ) происходит не только за счет давно укоренившихся направлений (таких как полупроводниковые или углеродные наноструктуры), но и вновь появляющихся ответвлений. Одно из них – нанофотоника – связано с взаимодействием света с наноструктурированными материалами. Его появление как исследовательского фронта в начале 2000-х гг. совпало с приоритезацией НТ на государственном уровне десятками стран. Драйвером роста нанофотоники стали открываемые новые возможности в светодиодах и солнечных батареях, медицинской терапии и диагностике, для ультрабезопасных коммуникаций, хранения данных [1], а также в военной сфере [2].

Цель статьи: выполнить библиометрический анализ развития нанофотоники в 2000–2017 гг., включая краткую характеристику основных мировых игроков; оценить исследовательский вклад и позиции России, ее научных институтов; охарактеризовать роль и специфику финансирующих организаций в поддержке развития нанофотоники.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16–06–00009).

В качестве источника информации для настоящего анализа использована авторитетная в мире политематическая база данных Science Citation Index Expanded (БД SCIE). С помощью специально разработанной процедуры (сочетавшей поиск по релевантным ключевым словам в названиях статей с их сплошным отбором из трех специализированных журналов: *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, *Journal of Nanophotonics* и *Nanophotonics*) из этой БД была извлечена 41698 публикаций (типы «article», «review», «proceedings paper», «letter»), которые составили исходную выборку. Данные SCIE использованы для международных библиометрических сопоставлений, анализа структуры финансирования рассматриваемой научной области. 1734 публикации с российским адресом составили основу для более детального анализа и оценки исследовательского вклада России и ее институтов. Для оценки влияния конкурсного финансирования на развитие области использовалась информация о научных проектах, доступная

через веб-порталы Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Национального научного фонда (ННФ) США. Чтобы лучше понять особенности развития нового ответвления нанотехнологий, мы нередко будем прибегать к его сравнению с давно укоренившимися направлениями НТ.

Далее приведены основные результаты анализа, выводы и заключение.

### Динамика мировых исследований по нанофотонике и вклад основных игроков

Рис. 1 демонстрирует рост мировых исследований по нанофотонике в терминах количества публикаций, которое в последние 8 лет увеличилось со среднегодовым темпом 6,9%. Однако этот рост далек, например, от углеродного нанобума, связанного со «взрывным» интересом к открытому в 2004 г. графену. По объемному показателю нанофотоника сравнялась пока с полупроводниковыми наноструктурами, растущими в последние годы довольно умеренно.

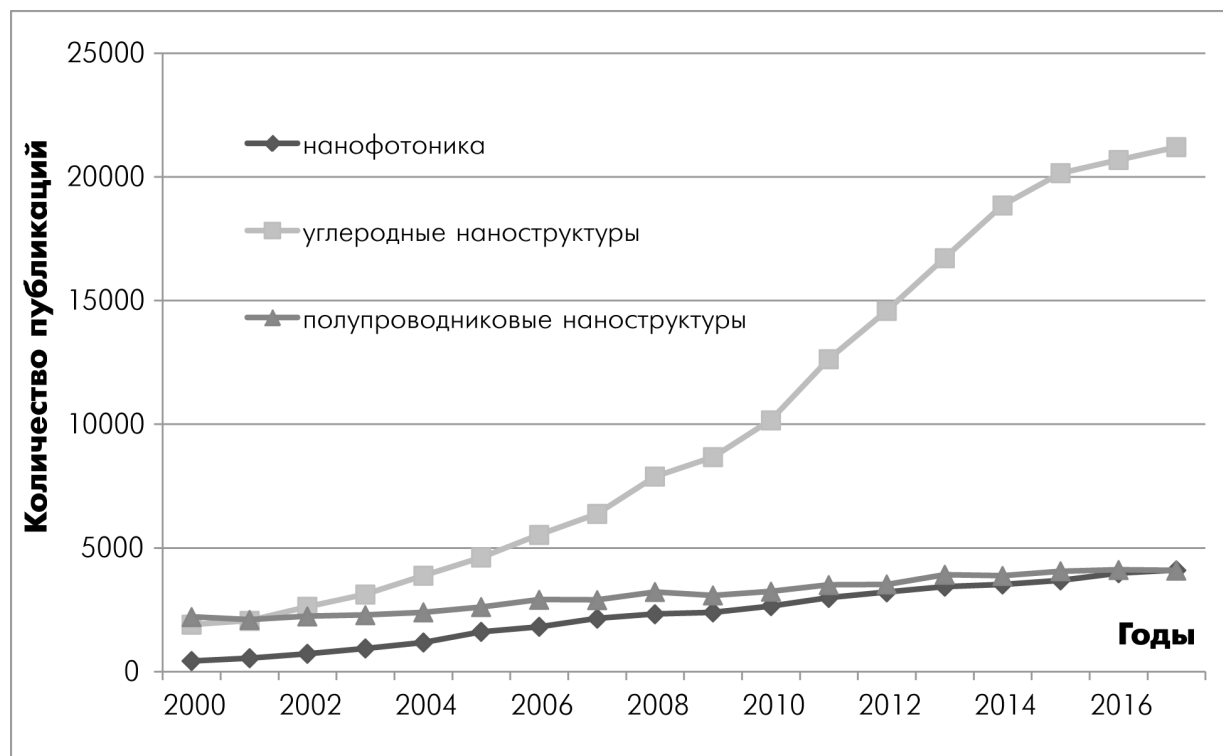


Рис. 1. Мировой выход публикаций в области нанофотоники, углеродных и полупроводниковых наноструктур

Интересно отметить, что среднегодовой темп роста российских публикаций по нанопотонике в последние 8 лет превысил общемировой в 1,1 раза, т.е. данная область обладает для страны определенной приоритетностью.

В первую десятку стран по количеству публикаций за весь период входят: Китай (11569), США (8846), Япония (3087), Германия (2534), Франция (2399), Великобритания (2376), Южная Корея (1873), Россия (1734), Тайвань (1414), Индия (1373). Рис. 2 иллюстрирует достаточно острое «соревнование» стран. В верхнем эшелоне стремительно прогрессирующий Китай в 2003 г. по объему производства публикаций обошел Германию, в 2005 г. – Японию и в 2008 г. – США, прочно утвердившись, затем, на 1-м месте. Добавим, что в 2013 г. Китай в одиночку обошел группу стран ЕС-28. Япония, долгое время опережавшая Германию, в 2013 г. уступила ей, отыгравшись, правда, в 2017 г.; тем не менее, обе эти развитые страны опускались в последние годы до 8-го места. Россия, занимавшая, в 2000 г. 7-е место к 2017 г. оказалась на 9-м, выбыв из

первой десятки стран всего только на два года. Уступая с 2007 г. Южной Корее, в последние два года она все-таки обошла ее. Заметим, что последовательный подъем, кроме Китая, продемонстрировала Индия и не вошедшие в топ-10 стран Иран и Сингапур. В остальном перемещения стран напоминают пока еще «лягушачьи скачки».

О вхождении страны в «элитный» исследовательский клуб может говорить ее вклад в топ-10% и топ-1% сегменты (включающие, соответственно, 10% наиболее высоко цитируемых и 1% самых цитируемых публикаций) в данной научной области. В табл. 1 показан «вес» стран в таком клубе в области нанопотоники. При построчном сравнении видно превосходство США и европейских стран над азиатскими по этому показателю. Интересно сопоставить данные этой таблицы с аналогичными данными, относящимися к НТ в целом, из таблицы 2 в [3]. Например, вклад Великобритании в топ-10% и топ-1% сегменты мировой литературы по нанопотонике составляет 10,1% и 13,9% (табл. 1), тогда как ее вклад

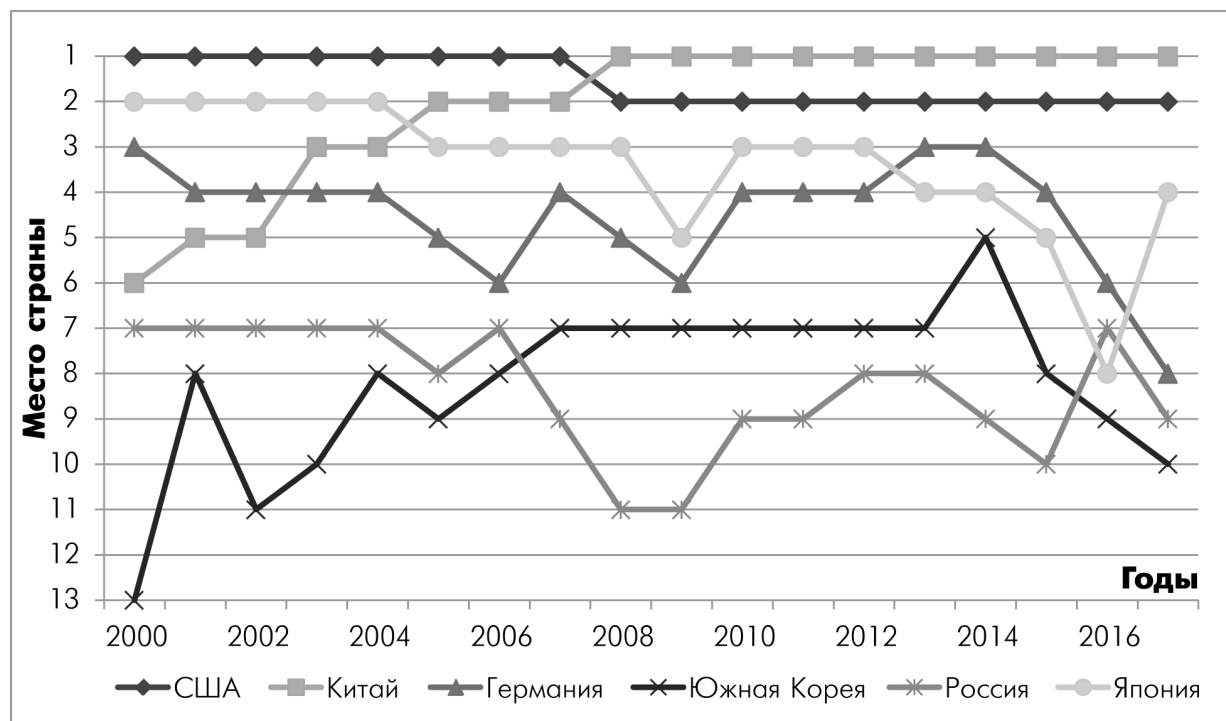


Рис. 2. Изменение позиций стран по количеству производимых публикаций в области нанопотоники

Таблица 1

### Вклад стран в высоко цитируемые публикации по нанофотонике, 2000–2016 гг.

Страна	Доля публикаций в		Страна	Доля публикаций в	
	топ-10% сегменте	топ-1% сегменте		топ-10% сегменте	топ-1% сегменте
США	43,0	59,4	Китай	19,3	14,2
Великобритания	10,1	13,9	Япония	5,9	4,5
Германия	8,7	8,3	Южная Корея	3,6	3,2
Франция	5,5	4,3	Тайвань	1,7	1,1
Россия	2,1	1,6	Индия	1,6	0,5

в те же сегменты литературы по нанотехнологиям существенно ниже: 5,2 и 6,5% соответственно [3, табл. 2]. То есть, оперативно сделав ставку на новое направление, страна добилась здесь большего научного влияния. Аналогичная ситуация, в разной степени, характерна для США, Германии, Франции, а также России.

Интересен вклад стран на институциональном уровне. Тройка лидеров по цитируемости публикаций – западные университеты (табл. 2). Можно сказать, что Система Калифорнийского

университета удовлетворяет библиометрическим критериям [4] для того, чтобы считаться центром научного совершенства в области нанофотоники<sup>2</sup>. Почетное место у отечественного Университета ИТМО, однако, он пока еще не может претендовать на такой статус. Замыкают таблицу азиатские вузы из Индии, Тайваня и Китая. Таким образом, если по объему проводимых исследований в области нанофотоники «Восток» стал опережать «Запад», то по их качественным характеристикам преимущество пока на стороне последнего.

Таблица 2

### Библиометрические показатели ведущих университетов из десяти стран

Университет	Средняя цитируемость публикаций (5-летнее окно)	Вклад в топ-10% / топ-1% сегменты публикаций	Количество публикаций, 2000–17 гг.
1. Имперский колледж Лондона	55,8	50 / 13	231
2. Технологический институт Карлсруэ	39,9	48 / 6	234
3. Система Калифорнийского университета	38,0	203 / 32	871
4. Университет ИТМО (Россия)	30,8	27 / 2	209
5. Киотский университет	20,7	33 / 2	369
6. Университет Париж – Саклей	18,6	50 / 4	598
7. Сеульский национальный университет	16,6	32 / 2	281
8. Система Индийских институтов технологий	15,2	39 / 2	450
9. Национальный университет Тайваня	13,3	31 / 2	419
10. Университет Цинхуа	11,6	18 / 3	394
МИР	17,6	3759 / 376	41698

<sup>2</sup> Высокий вклад в элитную часть научной литературы по нанофотонике (40 публикаций в топ-1% и 225 – в топ-10% сегменты) имеет Министерство энергетики США с его Национальными лабораториями.

### Основные российские участники исследований

Согласно *табл. 3*, основные отечественные участники исследований по нанофотонике – это университеты и институты Российской академии наук (РАН). С 2006 г. правительство страны провозгласило политику переноса центра тяжести фундаментальных исследований из РАН в университеты, породив между ними своеобразное «соревнование». Интересно посмотреть на него в свете библиометрических показателей. Согласно *рис. 3* до 2013 г. соблюдался примерный паритет по доле участия университетов и РАН в исследованиях по нанофотонике, однако, с этого момента под воздействием стимулирующих правительственных программ (мегагрантов, «5–100» и др.) университеты быстро пошли в отрыв. В итоге по суммарному вкладу за весь период они обошли РАН (*табл. 3*). Два столичных университета (МГУ и ИТМО) возглавляют топ-10 наиболее продуктивных российских институтов,

в который также входят два представителя провинции (СФУ и СГУ). Добавим, что на конец периода (2015–2017 гг.) число университетов в составе наиболее продуктивной российской десятки увеличилось до шести. У университетов несколько лучше, чем у РАН, и показатели цитируемости, на что могла повлиять степень международного сотрудничества (соавторства). Действительно, доля публикаций с международным соавторством в 2009–2017 гг. (по сравнению с 2000–2008 гг.) у университетских ученых выросла (~ на 2 процентных пункта (п.п.), тогда как у академических – значительно сократилась (~ на 11 п.п.)).

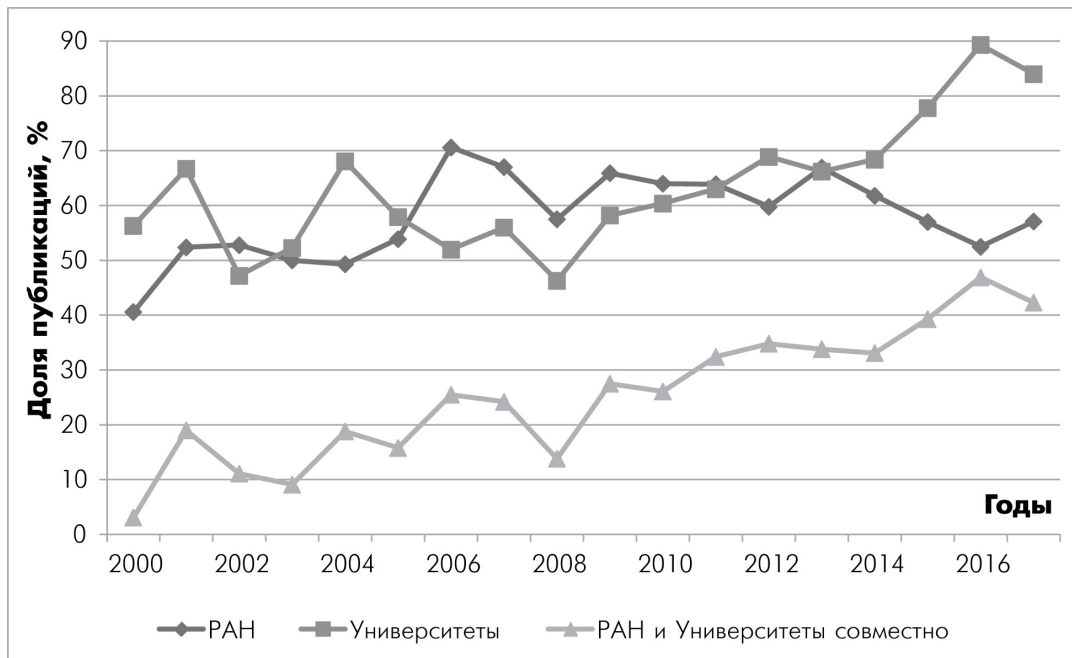
Нельзя, однако, не отметить, что наращивание исследовательского потенциала университетов происходило с заметным участием академических институтов (см. нижний график на *рис. 3*). Доля университетских публикаций по нанофотонике, написанных в соавторстве с учеными из РАН, выросла с 32% в 2000–2008 гг. до 50% в 2009–2017 гг. На уровне отдельных

Таблица 3

#### Топ 10 наиболее продуктивных в области нанофотоники российских институтов, 2000–2017 гг.

Ранг	Институт	Количество публикаций	Количество публикаций в топ-10% / 1% сегментах (2000–16 гг.)
1	МГУ	410	11 / 2
2	ИТМО	209	27 / 2
3	ФТИ РАН	208	14 / 1
4	ФИ РАН	111	3 / 1
5	ИОФ РАН	89	5 / -
6	ИФ СО РАН	75	- / -
7	МФТИ	71	2 / -
8	ИРЭ РАН	70	1 / -
9	СФУ	64	- / -
10	СГУ	61	2 / 1
	ВУЗы	1162	52 / 5
	РАН	1032	44 / 3
	ВСЕГО	1734	78 / 6

*Примечание:* МГУ – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; ИТМО – Университет ИТМО; ФТИ РАН – Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН; ФИ РАН – Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН; ИОФ РАН – Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН; ИФ СО РАН – Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН; МФТИ – Московский физико-технический институт (государственный университет); ИРЭ РАН – Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН; СФУ – Сибирский федеральный университет; СГУ – Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского.



**Рис. 3. Изменение вклада РАН и университетов в российские публикации по нанопотонике**

университетов она составляла за весь период: по 33% для ИТМО и МГУ, 75% для МФТИ.

О степени интеграции российских исследований по нанопотонике в мировые говорит уже тот факт, что 68,8% российских статей опубликованы в научных журналах 18-ти стран: 41,7% в американских, 10,5% в английских, 8,4% в голландских. Отечественные ученые имеют 14 публикаций в таких авторитетных журналах, как *Nature Photonics* (2), *Science* (2), *Nature Communications* (9), *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (1). На 21.08.2018 г. российские публикации были процитированы 25524 раза. Эти цитирования в 20% случаев содержались в публикациях китайских, в 19% – американских, в 9% – немецких, в 7% – британских, в 6% – французских ученых, т.е. отечественные исследования по нанопотонике входили в сферу внимания группы лидирующих стран. В свою очередь, российские ученые наиболее часто цитировали публикации ученых из США, собственно России, Великобритании, Германии, Франции и Китая. Отсюда следует, что отечественные исследования, в целом, не были периферийными.

### **Анализ структуры финансирования исследований по нанопотонике**

С августа 2008 г. в базы данных WoS, в первую очередь в БД SCIE, вводятся на регулярной основе указания на спонсорскую поддержку, содержащиеся в публикациях. Накапливаемая с тех пор информация открывает возможности для анализа структуры финансирования той или иной научной области, увязки научного входа и выхода, расширяя тем самым рамки традиционной библиометрии. В настоящем разделе такой анализ выполнен для нанопотоники.

Согласно расчетам, 72% из 32312 мировых публикаций по нанопотонике за период 2008–2017 гг. и 78% из 1263 российских содержали ссылки на спонсорскую поддержку. В табл. 4 показан вклад основных финансирующих организаций мира в поддержку развития области. Преобладание китайских спонсоров вполне закономерно, ввиду лидерства Китая по количеству производимых публикаций. Финансирующие организации преследуют, как правило, определенные цели развития науки, для достижения которых ими используются разные инструменты: стратегии, целевые программы, конкурсы инициативных

предложений снизу и т.д. Так, Программа «973» (Китай) ориентирована на задачи долгосрочного развития страны и утверждения ее науки на передовых позициях, Исследовательский совет по инженерно-физическим наукам (Великобритания) стремится, инвестируя в исследования и последипломное образование, создать базу знаний и навыков, необходимую для ответа на научно-технологические вызовы, стоящие перед нацией. В этом смысле выделяемые на науку деньги, по большей части, имеют определенную «окраску». Научные фонды олицетворяют собой конкурсный подход к финансированию науки, поэтому остановимся подробнее на них. Доля четырех фондов (из табл. 4) в поддержке национальных исследований заметно варьируется, например: ГФЕН поддержал за весь период примерно 70% отечественных публикаций по нанофотонике; РФФИ – 41%; ННФ США – 31% и ННИО – 28%. Сопоставление этих данных с аналогичными данными о поддержке двух более зрелых областей НТ – углеродных и полупроводниковых наноструктур – показывает, что перечисленные фонды пока не склонны выделять нанофотонику в качестве приоритета и оказывать ей усиленную поддержку.

График для ГФЕН на рис. 4 демонстрирует повышательный тренд, позволяющий говорить об усилении стимулирующей роли этого фонда в активном росте количества китайских публикаций по нанофотонике. Поддержанные им статьи цитируются, как правило, несколько выше средненационального уровня. Довольно устойчивую нишу в поддержке национальных исследований по нанофотонике занимают ННФ США и ННИО. Для РФФИ картина более изменчива, что может быть следствием колебания доли этого фонда в общих расходах федерального бюджета РФ на науку, появления новых институтов финансирования, таких как Российский научный фонд (РНФ) и т.д. С цитируемостью поддержанных публикаций ситуация также неоднозначна, поскольку она существенно зависит от зарубежного софинансирования с сопутствующими этому международными соавторскими связями; отметим лишь, что статьи по нанофотонике с поддержкой РФФИ, опубликованные в 2009, 2010 и 2013 гг., были процитированы заметно выше среднероссийского уровня.

Далее рассмотрим структуру и влияние финансовой поддержки российских публикаций. 66% отечественных публикаций по нанофотонике были поддержаны российскими финансирующими организациями, из них 36% имели

Таблица 4

**Основные источники финансирования мировых публикаций по нанофотонике, 2008–2017 гг.**

Финансирующая организация	Страна	Процент поддержанных публикаций
Государственный фонд естественных наук (ГФЕН)	Китай	22,0
Национальный научный фонд США (ННФ США)	США	6,1
Государственная программа развития фундаментальных исследований (Программа «973»)	Китай	5,0
Европейские финансирующие организации (ЕФО)*	Европейский Союз	2,9
Фонды фундаментальных исследований центральных университетов	Китай	2,9
Исследовательский совет по инженерно-физическим наукам (ИСИФН)	Великобритания	2,4
Управление научных исследований ВВС	США	2,0
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)	Россия	1,6
Немецкое научно-исследовательское общество (ННИО)	Германия	1,5
Австралийский исследовательский совет (АИС)	Австралия	1,5

Примечание: \*) ЕФО – зонтичное название, куда включены: «European Union» или «EU»; «European Commission» или «EC»; «European Research Council» или «ECR»; «European Social Fund» или «ESF»; «EU FP6»; «EU FP7»; «EU Graphene Flagship» и др.

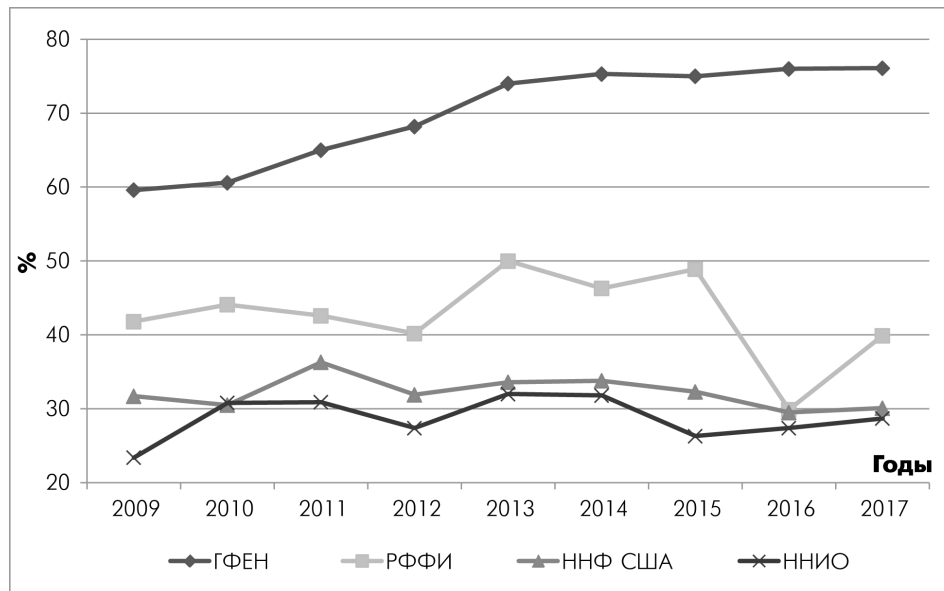


Рис. 4. Изменение доли публикаций по нанофотонике, выполненных при поддержке национальных научных фондов Китая, России, США и Германии

зарубежное софинансирование. Последний факт примечателен, поскольку подразумевает, что соответствующее исследование на стадии заявки прошло дополнительную экспертизу, объективно увеличив шанс для последующих статей быть процитированными. Интересно также, что 12% публикаций, включающих российскую аффилиацию, были поддержаны только зарубежными финансирующими организациями, откуда можно предположить, что указавший ее ученый с большой вероятностью относится к давно работающим за рубежом или, увы, эмигрантам.

В табл. 5 показан вклад основных финансирующих организаций в поддержку российских публикаций, где с большим отрывом лидирует РФФИ. Известно, что научные фонды реализуют идею равного доступа на получение исследовательского гранта на конкурсной основе, поэтому в свете «соревнования» университетов и РАН, примечательно, что за рассматриваемый период примерно 73% публикаций по нанофотонике, ссылающихся на поддержку РФФИ, принадлежали университетским ученым и 67% – ученым из РАН. Если до 2014 гг. по количеству таких публикаций между учеными из университетов и РАН наблюдалось примерное равенство, то в последние три года университеты несколько опередили Академию, что, по-видимому, отражает активизацию (и успешность)

их участия в конкурсах РФФИ. Показательно также, что на институциональном уровне больше всего публикаций, поддержанных этим фондом, имеют МГУ и ИТМО. Созданный в ноябре 2013 г. РФФ быстро набирает обороты. Например, статьи с его поддержкой, опубликованные в 2016 г., были процитированы значительно выше среднероссийского уровня (относительный показатель цитирования = 2,3). Больше всего статей по нанофотонике при поддержке этого фонда (гранты которого заметно весомее грантов РФФИ) опубликовали ИТМО и МГУ. Заметим, что Министерство образования и науки РФ (МОН РФ)<sup>3</sup> финансировало довольно большое количество программ по поддержке науки, главные из которых – федеральные целевые программы, РАН же была ограничена в таких возможностях (да и практика ссылок на поддержку ее программ пока еще недостаточно укоренена). Самыми частыми зарубежными спонсорами российских публикаций, согласно табл. 5, выступают европейские финансирующие организации и программы совокупно, Австралийский исследовательский совет и Исследовательский совет по инженерно-физическим наукам (Великобритания).

<sup>3</sup> В настоящее время Министерство науки и высшего образования РФ.



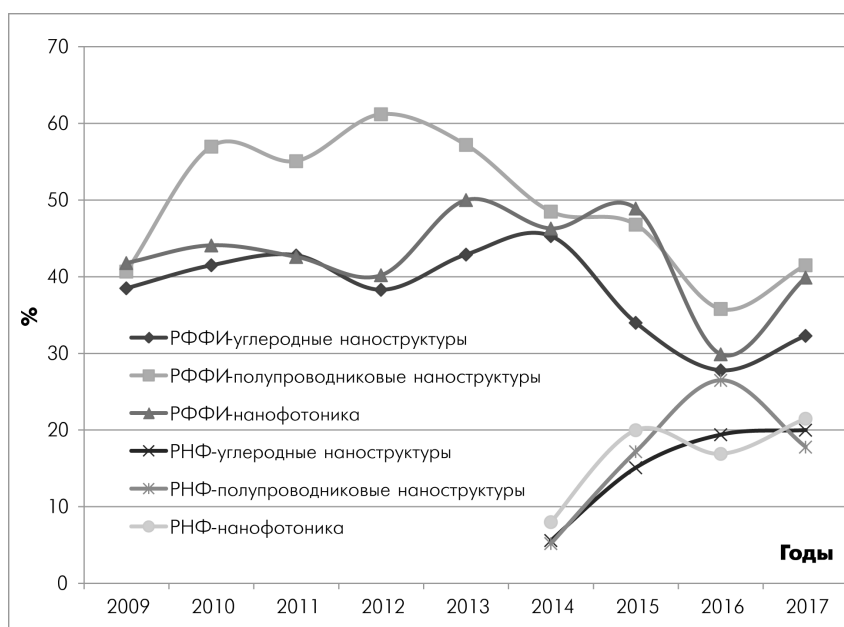
Таблица 5

**Основные источники финансирования российских публикаций по нанофотонике, 2008–2017 гг.**

Финансирующая организация	Страна	Процент поддержанных публикаций
РФФИ	Россия	41,0
МОН РФ	Россия	21,9
РНФ	Россия	8,9
РАН	Россия	8,0
ЕФО	Европейский Союз	7,2
АИС	Австралия	5,8
Фонд «Династия»	Россия	5,0
ИСИФН	Великобритания	3,5
ННИО	Германия	2,9
ГФЕН	Китай	2,1

Сопоставление структуры финансирования исследований двух российских лидеров в нанофотонике – ИТМО и МГУ – показало: около 75% публикаций обоих университетов за 2008–2017 гг. содержало ссылку на поддержку российских финансирующих организаций. Однако у первого эти публикации софинансировались зарубежными партнерами в 69% случаев, а у второго только в 43%. Международное соавторство при этом имели 82% публикаций ИТМО (главным образом, с учеными

из Австралии, Англии и США) и 50% публикаций МГУ (главным образом, с учеными из Германии, США и Китая). Т.е. большая интернационализация работ в части их финансирования в этом примере оказалась связанной с большей степенью международного соавторства, которое, очевидно, позволили ИТМО подняться выше МГУ в рейтингах цитирования (по нашим расчетам при пятилетнем окне цитирования статьи ИТМО цитировались в среднем в три раза чаще статей МГУ).



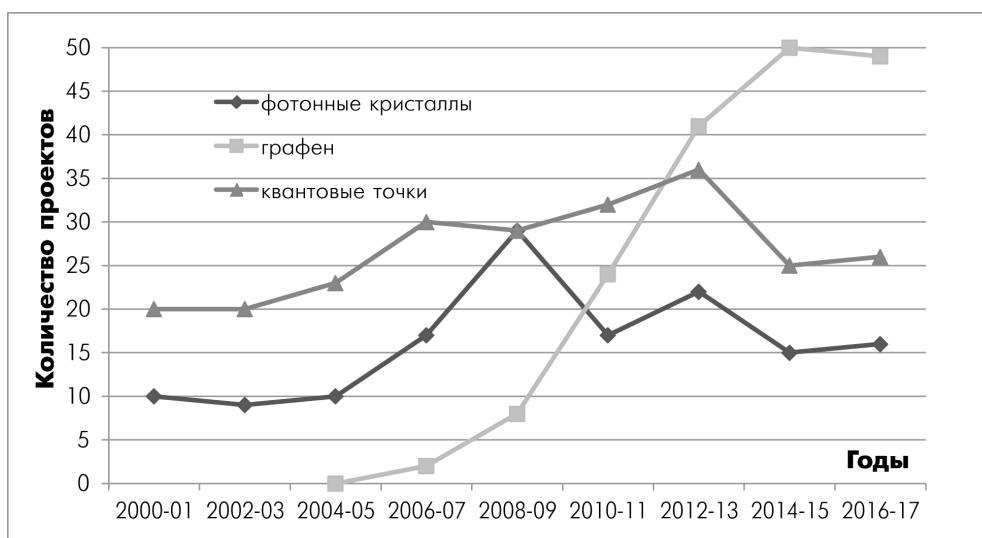
**Рис. 5. Изменение доли российских публикаций в области нанофотоники, углеродных и полупроводниковых наноструктур, выполненных при поддержке РФФИ и РНФ**

Как следует из рис. 5, оба российских фонда не демонстрируют усиленной поддержки нанофотоники на фоне двух более зрелых направлений нанотехнологий. Скорее, преимущество в этом отношении у полупроводниковых наноструктур.

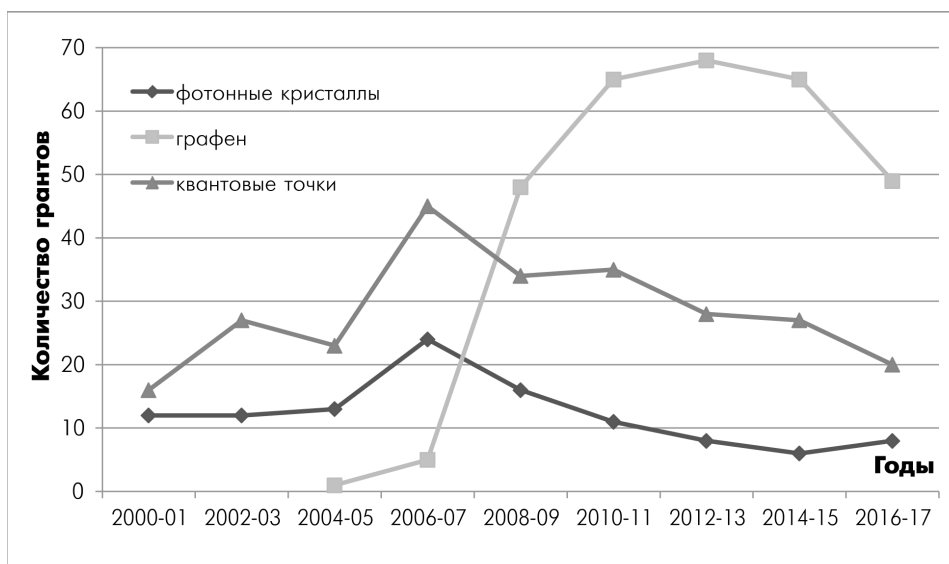
Анализ можно продолжить, обратившись к информационному полю «номера грантов» БД SCIE. Примерно в половине российских публикаций по нанофотонике за период 2008–2017 гг., указавших на финансовую поддержку РФФИ, был указан также и номер гранта. Согласно этим данным, всего 238 грантов, выданных РФФИ, участвовали в этой поддержке. Десять из них с количеством упоминаний от 10 до 13 можно считать оказавшими значимое влияние на развитие российских исследований по нанофотонике. Первые четыре гранта (12–13 упоминаний) были получены Физическим институтом им. П.Н. Лебедева РАН на исследования по такой «горячей» теме как фотонные кристаллы. Заметим, что при лучшей заполняемости соответствующего информационного поля анализ влияния грантов мог бы быть более полным и представлять реальный практический интерес.

Другой подход к анализу финансирования развития исследований связан с использованием баз данных о грантах. Такую возможность

дают, например, функция «поиск по проектам и заявкам» на портале РФФИ (<http://www.rfbr.ru>), а также функция поиска в БД грантов ННФ США (<https://www.nsf.gov/awardsearch/>). На рис. 6 и 7 показаны графики для числа проектов, поддержанных обоими фондами, которые посвящены «ядерной» тематике в нанофотонике, углеродных и полупроводниковых наноструктурах (поиск осуществлен в названиях проектов (РФФИ) и грантов (ННФ США)). Интересно отметить не только отсутствие приоритетности, но и понижательный тренд (в последние годы) в грантовом финансировании исследований по фотонным кристаллам у обоих фондов (добавим, что этот тренд сохраняется для грантов ННФ США, отобранных по ключевым словам не только в названиях, но и резюме). Ажиотажный интерес к графену начинает, по-видимому, затухать, что более отчетливо проявляется в случае ННФ США. Наблюдается снижение количества грантов, выделяемых на исследования и по квантовым точкам. Поскольку за проектами стоят будущие публикации, данное обстоятельство может работать на снижение публикационной активности США и России по рассматриваемым тематикам в перспективе. Однако здесь нельзя сбрасывать со счетов и диверсификацию



**Рис. 6. Количество стартовавших проектов РФФИ (инициативных научных проектов и инициативных проектов ориентированных фундаментальных исследований) по «ядерным» темам в трех областях НТ: нанофотонике, углеродных и полупроводниковых наноструктурах**



**Рис. 7. Количество стандартных грантов («standard grants»), выданных ННФ США на исследования по «ядерным» темам в трех областях НТ: нанофотонике, углеродных и полупроводниковых наноструктурах**

источников финансирования или изменение его характера, например, в связи с усилением прикладной направленности исследований. В любом случае этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Таким образом, совместное использование информации о финансовой поддержке исследований с библиографическими данными значительно расширяет возможности для углубленной аналитики. По мере улучшения стандартизации названий финансирующих организаций и дальнейшего накопления информации такая аналитика могла бы стать хорошим инструментом для подготовки принятия решений.

### **Выводы и заключение**

Несмотря на широкий спектр ожидаемых технологических выходов и приложений, развитие исследовательской базы нанофотоники происходит пока умеренными темпами, не идущими в сравнение, например, с ажиотажным бумом углеродных наноструктур. Тем не менее более ста стран участвуют в исследованиях, наиболее продвинутые из которых активно соревнуются. Отмеченный ранее тренд научного «наступления» Востока на Запад [5] в нанофотонике выражается пока лишь в количестве, но не качестве публикаций. Имея хороший бэкграунд в области оптики и наноструктурированных

материалов, Россия с самого начала успешно включилась в развитие данного ответвления нанотехнологий. Она достаточно интегрирована в мировые исследования, заметно участвует в их финансировании. Россия в первой десятке стран, а РАН третья по продуктивности среди сопоставимых мировых организаций (после Китайской академии наук и Национального центра научных исследований Франции). МГУ и ИТМО входят в первую сотню мировых университетов по продуктивности, ИТМО же имеет высокие позиции и в рейтинге цитируемости публикаций.

Настоящий анализ показал, что меры университетско-центристской политики правительства в случае нанофотоники дали определенный эффект. Под их воздействием университеты заметно увеличили в последние годы свою публикационную активность, участие в конкурсах РФФИ, степень международного сотрудничества, обойдя в этих аспектах РАН. Опыт ведущих отечественных университетов подтвердил, что международная кооперация и связанные с ней расширение финансовой базы и улучшение экспертизы исследований способны существенно повышать цитируемость публикаций.

Глобализация исследований, сопровождаемая, как правило, интернационализацией их финансирования, делает изучение структуры финансирующих организаций, проводимой ими

политики и ее влияния на научный выход весьма актуальным. В последнее время формируется информационная база для такого изучения путем введения в библиографические БД пристатейных ссылок о спонсорской поддержке, а также создания баз данных научных фондов. Выполненный на основе такой информации анализ связей между публикациями и проектами позволил, в частности, оценить степень приоритетности нанофотоники на фоне двух укореившихся направлений НТ для научных фондов Китая, России, США и Германии; дать пример выявления наиболее влиятельных проектов

в области (на примере РФФИ); предсказать возможное уменьшения публикаций по «ядерным» тематикам нанофотоники, углеродных и полупроводниковых структур (на примере ННФ США и РФФИ).

В заключение стоит отметить, что вовлечение в библиометрический анализ пристатейных ссылок на финансовую поддержку исследований совместно со сведениями из грантовых баз данных значительно расширяет рамки такого анализа и может способствовать повышению обоснованности оценок и улучшению формируемой исследовательской политики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Editorial* (2011) The hidden face of nanophotonics // *Nature Photonics*. V. 5(7). P. 379.
2. *Nanophotonics: Accessibility and Applicability*. Chapter 4: Potential military applications of nanophotonics (2008). <https://www.nap.edu/read/11907/chapter/6>.
3. Терехов А.И. (2017) Место России в меняющемся нанотехнологическом ландшафте // *Международные процессы*. Т. 15(1). С. 79–91.
4. *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.
5. Терехов А.И. (2017) Библиометрический анализ углеродного направления нанотехнологий: 2000–2015 // *Экономика науки*. Т. 3(4). С. 262–274.

## REFERENCES

1. *Editorial* (2011) The hidden face of nanophotonics // *Nature Photonics*. V. 5(7). P. 379.
2. *Nanophotonics: Accessibility and Applicability*. Chapter 4: Potential military applications of nanophotonics (2008). <https://www.nap.edu/read/11907/chapter/6>.
3. *Terekhov A.I.* (2017) Russia's place in an evolving nanotechnological landscape // *International Trends*. V. 15(1). P. 79–91.
4. *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.
5. *Terekhov A.I.* (2017) Bibliometric analysis of the carbon direction of nanotechnology: 2000–2015 // *Economics of Science*. V. 3(4). P. 262–274.

### UDC 001

*Terekhov A.I. The emerging nanotechnology spin-offs: nanophotonics (Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky pr., 47, Moscow, Russia, 117418)*

**Abstract.** The emerging spin-offs have become a way to further spread of nanotechnology in the 2000s. One of them (nanophotonics), which promises a wide range of technological outputs, is considered in this article. Relying on bibliometric analysis, the most active world players in the field as well as the main domestic institutions participating in the research were identified, their contribution was estimated, and positioning was shown. Considerable attention is paid to the analysis of the research funding structure, the possible linking of scientific input and output. In particular, there were shown: the internationalization of such funding as an element of the globalization of research, a comparative degree of prioritization of nanophotonics on the agenda of a number of science foundations, an example of identifying the most influential grants by combining bibliometric data with information from the Russian Foundation for Basic Research. The source of information was the polythematic database Science Citation Index Expanded, as well as data obtained through the web portals of the Russian Foundation for Basic Research and the US National Science Foundation.

**Keywords:** nanophotonics, scientific paper, bibliometric analysis, sponsoring organization, science foundation, research grant.