

В ПОИСКАХ ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ФОТОНИКА*

© 2017 г. И. Дежина, А. Фролов

На примере фотоники рассматривается проблема идентификации и поддержки прорывных технологий. В развитых странах фотонику в основном продвигают бизнес-ассоциации и научное сообщество, а не государство. Пока только на уровне ЕС революционными признаны квантовые технологии как одно из ее поднаправлений. Соответственно, специальные меры по господдержке фотоники в большинстве стран отсутствуют. В России она рассматривается в качестве одной из ключевых технологий, однако потенциал ее научного и технологического развития невысок, что показал проведенный авторами библиометрический и патентный анализ. Сделан вывод о целесообразности господдержки тех направлений фотоники, которые могут внести наибольший вклад в реализацию Национальной технологической инициативы РФ.

Ключевые слова: прорывные технологии, обеспечивающие технологии, государственная политика, фотоника, Россия, библиометрический анализ, патенты, меры, консорциумы.

Статья поступила в редакцию 30.01.2017.

DOI:10.20542/0131-2227-2017-61-6-14-22

В последние годы в научных и правительственных кругах многих стран идет дискуссия о том, какие технологии могут обеспечить ускоренное экономическое и социальное развитие. Популярной стала идея прорывных технологий и их увязывания с технологическими и индустриальными циклами (волнами, укладами). По оценкам *McKinsey*, мировой экономический эффект от развития 12-ти идентифицированных ими таких технологий может составить более 30 трлн долл. в год к 2025 г. [1].

Правительства рассчитывают на потенциал прорывных технологий как на источники экономического роста. В США запускают национальные инициативы по наиболее перспективным технологическим направлениям [2], в ЕС в рамках программы *Horizon 2020* выделяют ключевые обеспечивающие технологии [3]. В РФ разворачивается Национальная технологическая инициатива (НТИ) по поддержке новых

рынков, формирующихся на базе прорывных технологий. Число потенциально прорывных технологий велико – библиометрический и патентный анализ позволяют идентифицировать их сотнями. Наибольший интерес представляют технологии с пока не вполне ясным потенциалом – к ним присматриваются, но единой оценки их перспектив нет. В их числе фотоника, объединяющая достаточно разнородный набор научных и технологических направлений.

Фотоника представляет собой область науки и техники, связанную с генерацией и распространением потоков фотонов, управлением ими и использованием их взаимодействия с веществом [4]. Соответствующие технологии применимы в телекоммуникациях (дисплеи, оптоволоконные кабели, приемо-передающее оборудование, системы хранения информации, оптоволоконные сенсоры), биотехнологиях (диагностическое оборудование, фототерапия), энергетике (солнечные батареи), промышленном производстве (лазеры для обработки материалов, машинное зрение, контроль качества).

В последние десятилетия технологии фотоники стали вытеснять традиционные из ряда областей (хранение и передача информации, освещение, обработка материалов и проч.). При этом, с учетом тенденций по переходу от дискретной к интегральной фотонике, можно ожидать, что в перспективе 10–20 лет начнется экспоненциальный рост применения приборов, основанных на ее технологиях, что обеспечит социально-экономический эффект, сопоставимый с тем, что был получен в электронике в результате перехода от дискретных к интегральным схемам. Уже сейчас мировой рынок фотоники составляет около 480 млрд долл., а к 2020 г. ожидается его рост до более чем 600 млрд долл. [5].

ДЕЖИНА Ирина Геннадиевна, доктор экономических наук, руководитель группы по научной и промышленной политике Сколковского института науки и технологий, РФ, 143026 Москва, Территория Инновационного Центра “Сколково”, ул. Нобеля, д. 3; ведущий научный сотрудник Института экономической политики имени Е. Т. Гайдара, РФ, 125993 Москва, Газетный пер., д. 3–5, стр. 1 (i.dezhina@skoltech.ru).
ФРОЛОВ Александр Сергеевич, аналитик по промышленной политике Сколковского института науки и технологий, РФ, 143026 Москва, Территория Инновационного Центра “Сколково”, ул. Нобеля, д. 3 (a.frolov@skoltech.ru).

* Статья подготовлена на основе НИР «Разработка публичного аналитического доклада по научно-технологическому направлению, критическому для развития секторов экономики Российской Федерации, – “Фотоника”», выполненной при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор научно-исследовательской работы RFMEFI60315X0011).

Наиболее интенсивно развивается рынок ее приложений в ИКТ и энергетике [6].

В России фотоника официально отнесена к числу приоритетных технологических областей. Однако важно понимать, насколько адекватно отводимое ей место в инновационной политике, в каких направлениях и каким образом Россия способна сделать рывок именно в этом направлении. Выявить реальную ситуацию позволяют данные библиометрического и патентного анализа ключевых направлений развития фотоники. Кроме того, представляет интерес рассмотрение зарубежных представлений об ее потенциальной роли в будущем экономическом развитии и применяемых механизмах поддержки, а на этой основе – сопоставление российских подходов с общемировым трендом.

ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: КОНЦЕПЦИИ

Дифференциация технологий (или инноваций)¹ по степени их влияния на социально-экономические процессы была предложена еще в фундаментальных работах Й. Шумпетера [7], который предполагал, что инновации возникают в экономике не равномерно, а кластерами, что вызывает долгосрочные экономические циклы.

Развивая идеи Й. Шумпетера, Г. Менш выделил несколько типов инноваций: базисные, улучшающие и псевдоинновации [8], которые играют различную роль в разные периоды экономического цикла². Такой подход получил развитие в работах Я. ван Дейна, который помимо базисных и улучшающих инноваций выделял также продуктовые и технологические [9]. Е. Хелпман и М. Трахтенберг предложили концепцию “технологий широкого применения” [10], предполагающую выделение особого класса технологий, формирующих новые масштабные рынки и использующихся практически повсеместно.

Обобщая идеи Й. Шумпетера в модели кластерного развития инноваций, Дж. Доси разработал концепцию технологической парадигмы [11]. Под ней он понимал модель решения определенного класса технологических проблем, основанных на принципах, вытекающих из естественных наук и сопутствующих технологий.

¹ В научной литературе в зависимости от фокуса исследования используются термины “инновация” либо “технология”. Когда речь идет о государственной политике, то они часто употребляются как синонимы.

² Как правило, базисные инновации появляются на этапе депрессии и способствуют выходу экономики из кризиса, а улучшающие инновации выводятся на рынок в фазе выхода из кризиса.

Концепция Дж. Доси положила начало формированию комплексных теорий долгосрочных технологических циклов, в рамках которых объяснялись механизмы взаимного влияния инновационного и социально-экономического развития. Наибольшую известность получили концепция технико-экономической парадигмы К. Переса [12] и концепция технологических укладов С. Глазьева [13].

Несмотря на широкую популярность концепций долгосрочных технологических циклов, их применимость на практике оказалась сильно ограниченной. Во-первых, в ряде научных работ вообще опровергается наличие “кластеров инноваций” [14]. Во-вторых, сложно определить временные границы этапов технологических циклов, что не позволяет соответствующим образом формировать государственную политику. Поэтому одновременно продолжается развитие теорий, позволяющих выделять группы технологий с точки зрения глубины и широты их влияния на социально-экономические процессы.

Так, в работах М. Ташмана и П. Андерсона на основе идеи “прерывистости” технологического развития (*technological discontinuities*) выделены два типа перспективных технологий: 1) формирующих новые рынки и подрывающих конкурентные позиции прежних компаний-лидеров (*competence-destroying discontinuities*); 2) обеспечивающих дальнейшее развитие традиционных рынков и повышающих конкурентоспособность прежних компаний-лидеров (*competence-enhancing discontinuities*) [15].

Дальнейшее развитие теоретических изысканий относительно различных групп технологий во многом построено на углубленном анализе этих двух типов технологических прорывов. На этой основе появилась концепция “подрывных инноваций” К. Кристенсена [16].

Близким к понятию технологий, обеспечивающих дальнейшее развитие традиционных рынков и повышающих конкурентоспособность прежних компаний-лидеров, стало понятие “обеспечивающих технологий”. Данный термин использовался Дж. Уттербаком еще в 1990-е годы. Обеспечивающие технологии, согласно ему, включают в себя большое количество элементов, необходимых для производственного процесса, и позволяют сместить фокус технологических усилий с продуктовых инноваций и дизайна к процессным инновациям [17]. В последние годы, особенно в ЕС, термин “обеспечивающие технологии” стал применяться в документах, касающихся государственной политики технологического развития [3].

В некотором смысле объединяющим два подхода является термин “прорывных технологий”. Под прорывными понимаются такие технологии, которые

обеспечивают существенные улучшения имеющихся продуктов/услуг по параметрам цена/функциональность, либо создают полностью новые типы продуктов/услуг, которые изменяют поведенческие модели конечных пользователей [18]. На наш взгляд, данный термин наиболее точно соответствует контексту анализа государственной политики, поскольку акцентирует внимание на масштабах воздействия технологий на социально-экономические процессы, а не просто на их характере (подрывающий или обеспечивающий), что более важно для отдельных компаний.

Научные исследования непосредственно области фотоники как прорывной технологии, для которой необходима организация специальной государственной поддержки, вплоть до последнего времени были довольно редки. Это можно объяснить тем, что специалистам по фотонике не удавалось привлечь к ней внимание чиновников, хотя и был подготовлен ряд обстоятельных обзоров и публичных докладов [19, 20]. Значимым исключением является вышедшая в 1992 г. книга Э. Стернберга, в которой фотоника была определена как “интегральная технология”, которая имеет революционный экономический потенциал [21].

Дебаты, имеют ли технологии фотоники прорывной характер, продолжаются. Так, в последнее время специалисты обсуждают отдельные направления, которые считают наиболее перспективными: интегральная фотоника [22], квантовые технологии [23] и низкоразмерные материалы (в частности, графен [24]).

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Поскольку потенциал фотоники точно не определен, в развитых индустриальных странах внимание к ней и усилия по ее поддержке сильно разнятся.

В США ведущая роль в инициировании активности вокруг фотоники принадлежит научному и бизнес-сообществу. Сначала появилась именно “частная” версия национальной инициативы по фотонике (*National Photonics Initiative, NPI*), в которой объединили усилия пять некоммерческих организаций: Оптическое общество (*OSA*), Международное общество оптики и фотоники (*SPIE*), Общество фотоники института инженеров по электрике и электронике (*IEEE Photonics Society*), Американский лазерный институт (*Laser Institute of America*) и Отдел лазерных наук американского физического сообщества (*APS's Division of Laser Science*) [25].

В ответ на активное лоббирование фотоники со стороны *NPI* правительство США создало Комитет быстрого реагирования по оптике и фотонике (*Fast-Track Action Committee on Optics and Photonics, FTAC-OP*). Из доклада *FTAC-OP*, опубликованного в апреле 2014 г. [26], следует, что фотоника оценивается как

“поддерживающее” направление, обеспечивающее реализацию национальных приоритетов федерального уровня. К ним относятся такие инициативы, как *BRAIN* (“Мозг”), перспективные производственные технологии, “большие данные” (*Big Data*), геном материалов. Поэтому на федеральном уровне только в 2015 г. была введена специальная мера поддержки фотоники, причем в рамках другой национальной инициативы – по созданию национальной сети промышленных инноваций (*National Network for Manufacturing Innovation*).

Речь идет о создании Института интегральной фотоники для инноваций в области производственных технологий (*Integrated Photonics Institute for Manufacturing Innovation, IP-IMI*). Он отличается от других организаций, создаваемых в рамках данной инициативы (всего планируется открыть 45 институтов), тем, что в него направляются существенные инвестиции из бизнес-сообщества. Институт получил из федерального бюджета 110 млн долл. на 5 лет, а промышленность софинансирует его работу в размере 503 млн долл.³ Институт представляет собой консорциум из 75 организаций, включая компании, некоммерческие организации и университеты [27].

По сравнению с технологическими направлениями, по которым в США были запущены национальные инициативы, государственное финансирование Института интегральной фотоники относительно невелико. Так, Национальный институт здравоохранения (*National Institute of Health*) выделил на национальную инициативу “Мозг” около 150 млн долл. в 2014–2016 гг. [28], а расходы федеральных ведомств в рамках национальной нанотехнологической инициативы оцениваются в среднем в 1.5 млрд долл. ежегодно [29].

В Европе ситуация иная. Там фотонике придан высокий статус на уровне Европейского союза. В 2009 г. ее включили в число 9-ти ключевых “опорных” технологий (*key enabling technologies, KET*) [3], и потому фотоника стала одним из приоритетных направлений финансирования в 8-й рамочной программе ЕС по исследованиям *Horizon 2020*. Соответственно, поддержка со стороны ЕС начала осуществляться по традиционным комплексным механизмам.

В 2013 г. на базе технологической платформы “Фотоника 21” было создано государственно-частное партнерство (ГЧП) в области фотоники (*Photonics Public Private Partnership*) [30], где стороны взяли на себя долгосрочные финансовые обязательства на период действия программы *Horizon 2020* [31]. Обращает на себя

³ Данные на сентябрь 2015 г. Источник: интервью И. Дежиной с Ф. Гейлом (*Frank Gayle, Deputy Director of the Advanced Manufacturing National Program Office, NIST*) 21 сентября 2015 г.

РОССИЯ

внимание то, что в рамках данной инициативы в ЕС, как и в США, расходы частного сектора существенно превысили бюджетные ассигнования. Европейская Комиссия (ЕК) выделила 700 млн евро, а обязательства частного бизнеса составили вчетверо большую сумму – 2.8 млрд евро [32]. В рамках *Horizon 2020* по итогам конкурсов, проведенных в 2014–2015 гг., был утвержден 51 проект по тематике фотоники на сумму 163.5 млн евро [33], что составило чуть более 10% от общего объема финансирования одобренных за этот период времени проектов [34].

Предполагается, что в рамках ГЧП будет налажена система поддержки исследований и разработок вплоть до выхода на производство [35]. В функции ГЧП будет входить выбор исследовательских приоритетов и их согласование с ЕК в рамках *Horizon 2020*.

Следующим этапом стало выделение из общей области “фотоника” направления “квантовые технологии”, которое рассматривается в качестве прорывного. В материалах ЕС даже появился термин “вторая квантовая революция” [36]. Для ее поддержки будет введена специальная мера – 10-летняя программа, названная “Флагманская инициатива в области квантовых технологий” (*Quantum technology flagship, QTF*). Предполагается, что инициатива будет запущена в 2018 г. с финансированием 1 млрд евро [36].

В Японии исследования в области фотоники финансируются многими агентствами и ведомствами. Правда, единой стратегии по позиционированию и поддержке данного направления еще нет [37]. В целом можно говорить о том, что фотоника рассматривается как важное направление, поддерживающее быстро развивающиеся технологии, такие как, например, Интернет вещей [38]. С учетом развитой промышленности, в том числе и в области фотоники, государственная политика направлена на формирование сети ведущих исследовательских центров (*Photon Frontier Network*) [37], которые будут развивать сотрудничество с компаниями.

Таким образом, анализ позиционирования и поддержки фотоники в США, ЕС и Японии показывает, что она рассматривается как прорывная только на уровне ЕС. В США и Японии, где в технологическом развитии бизнес играет более значимую роль, чем государство, потенциал фотоники в наибольшей мере оценен бизнес-сообществом. Этот факт может интерпретироваться как свидетельство того, что частные компании считают фотонику перспективной, хотя и не революционизирующей производство технологией.

В России инициатива по приданию специального статуса фотонике исходила, как и за рубежом, от бизнес-сообщества (Лазерной ассоциации) [39]. В результате в 2013 г. появилась общегосударственная дорожная карта “Развитие оптоэлектронных технологий (фотоники)”⁴. Фотонику планировалось включить в состав приоритетов развития науки, технологий и техники в РФ, список которых должен был пересматриваться в 2014 г. В июле 2014 г. фотоника стала ключевой темой заседания уже на уровне президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России.

Несмотря на высокий уровень внимания правительства к фотонике в 2013–2014 гг., не было введено специальных мер по ее поддержке. По-видимому, в тот период времени более важными с точки зрения распределения бюджетных ассигнований были признаны другие технологические направления. Косвенно такое предположение подтверждается тем, что в 2016 г. была принята Межведомственная программа исследований и разработок в области фотоники на 2017–2020 гг., предполагающая повышение координации при финансировании исследований в области фотоники в рамках уже имеющихся бюджетов ведомств и госкомпаний.

В итоге поддержка НИР в области фотоники оказывалась в рамках общих инструментов научно-технологической политики, включая федеральные целевые программы (ФЦП) и инициативы институтов развития. В течение 2009–2015 гг. в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.” финансирование в объеме около 10 млрд руб. получили более 440 проектов, в разной степени касающихся технологий фотоники [40].

В связи с этим возникает вопрос, имеется ли в России необходимый научный и технологический потенциал для развития фотоники. Первым достаточно обобщенным шагом такой оценки является библиометрический и патентный анализ. Первый должен показать наличие заделов для генерирования “прорывных” идей, второй – потенциал коммерциализации новых разработок.

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ И ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ФОТОНИКИ В РФ

Библиографический поиск проводился по базе данных *Web of Science* за период с 2000 г. по январь 2016 г. по трем укрупненным направлениям: “материалы и структуры фотоники”, “информационные приложения фотоники” и “биомедицинские приложения

⁴ Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 июля 2013 г. № 1305-р.

фотоники”, внутри которых дополнительно выделялись поднаправления. Указанные направления были выбраны российскими и зарубежными экспертами — специалистами в различных областях фотоники. Всего в определении перспективных поднаправлений фотоники участвовало около 30 экспертов. Для библиометрического анализа составлялись “поисковые образы”, наиболее точно описывающие перспективные области исследований. Патентный поиск проводился за тот же период (с 2000 г. по январь 2016 г.) по аналогичным поисковым образам с использованием систем *WIPO (World Intellectual Property Organization)* и *Patent Lens*.

По числу публикаций в *Web of Science* Россия входит в десятку ведущих стран, однако сильно отстает от лидера — США. Доля российских публикаций в общем числе по всем областям фотоники, кроме одной (спектрально-прецизионные лазеры), не превышает 3–5%. Для сравнения, доля американских публикаций — в среднем около 30% от общемирового потока. Япония и Германия также относятся к числу ведущих стран (соответственно 7–9% и 6–7% мирового потока публикаций по большинству областей фотоники).

Показатели цитирования российских публикаций по *Web of Science* также достаточно скромные. Индекс Хирша (*h*-индекс) по всем направлениям не превышает 25 (как правило, равен 15), а среднее число цитат на статью по большинству направлений меньше 15. Для сравнения, *h*-индекс американских публикаций, как правило, не меньше 60, а среднее число цитирований в 2–3 раза больше российского показателя.

Нагляднее всего вклад российской науки за последние 15 лет в мировые исследования по фотонике отражает доля статей с российскими соавторами в высокоцитируемых публикациях. Всего было идентифицировано 16 таких публикаций с российскими авторами, что составляет порядка 1% от общего числа подобных работ. Примечательно, что в большинстве из них российские организации не являются ведущими.

В России есть сравнительно неплохой задел в под областях, связанных с материалами и структурами фотоники (фотонные кристаллы и характеристика фотонных материалов оптическими методами, метаматериалы). В то же время отставание особенно заметно в области информационных приложений фотоники, а также по ряду прорывных материалов и структур фотоники (низкоразмерные материалы, включая углеродные нанотрубки, оптические межсоединения и кремниевая фотоника). Примечательными исключениями среди прорывных направлений развития фотоники являются области квантовых компьютеров и симуляторов, а также биомедицинских приложений, по которым количество российских публикаций ниже, но все же сопоставимо с ведущими европейскими странами и Японией. В области исследований материалов

и структур в России лидирует ряд академических институтов физического профиля, а также МГУ им. М. В. Ломоносова и Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (НИУ ИТМО).

Схожая картина наблюдается в области информационных приложений фотоники: там также лидируют академические институты, а среди университетов — Новосибирский государственный университет, который слегка опережает МГУ. В то же время в такой растущей области, как биофотоника, наиболее высокоцитируемые статьи написаны университетскими авторами (из Саратовского государственного университета, МГУ и Томского государственного университета).

Несмотря на относительно низкие показатели публикационной активности и цитируемости российских статей в области фотоники, необходимо отметить, что они все же лучше, чем в среднем по всем научным областям. Доля России в общемировом потоке публикаций в научных журналах, индексируемых в *Web of Science*, составляла 3.3% в 2000 г. и снизилась до 2.3% к 2015 г. [41].

Анализ данных о публикационной активности и цитировании российских публикаций по выбранным направлениям фотоники в *Web of Science* позволяет заключить, что в России есть конкурентоспособные научные заделы, связанные прежде всего с базовыми материалами и структурами фотоники. Несколько слабее, но все же заметны позиции в области квантовых технологий и биофотоники.

Результаты патентного анализа совершенно иные: вклад РФ в коммерциализацию патентуемых технологий фотоники на мировом рынке исчезающе мал. В ходе патентного поиска было найдено более 30 тысяч патентов по анализируемым областям фотоники, подавляющее большинство которых действует в юрисдикции США, существенно меньше — в юрисдикциях европейских стран.

Число российских патентов по всем тематическим направлениям крайне мало. Было идентифицировано лишь 70 зарубежных патентов (в основном американские и европейские), в которых хотя бы один из заявителей указывал российский адрес (предположительно, это резиденты Российской Федерации). Однако только 13 из этих патентов напрямую исходили из РФ, а остальные принадлежат различным зарубежным компаниям (в том числе *IPG Photonics, Inc.*). Основными российскими патентообладателями являются средние по размеру частные компании, два иностранных патента принадлежат академическим институтам и еще два — частным лицам.

Для сравнения, в мировых масштабах в десятку лидеров по каждому поднаправлению фотоники

в основном входят крупные компании, преимущественно американские и японские. В наибольшем числе направлений лидируют корейская компания *Samsung*, американские *Hewlett-Packard*, *IBM* и *Intel*, а также японский *Canon*. Помимо компаний, в числе ведущих патентообладателей, причем одновременно по нескольким направлениям, есть университеты штата Калифорния, Массачусетский технологический институт и Стэнфордский университет.

Анализ патентной активности показывает, что в России практически отсутствуют запатентованные за рубежом технологические решения в области фотоники. По-видимому, это связано с дефицитом крупных отечественных компаний, работающих в данной области и конкурентоспособных в мировом масштабе. Таким образом, можно констатировать, что, хотя в РФ сформирована определенная научная база в области фотоники, коммерциализация соответствующих отечественных технологий на мировом рынке крайне низка.

* * *

Анализ подходов к тематике фотоники в развитых индустриальных странах показал, что пока на государственном уровне эта область не считается прорывной. Исключение составляет ЕС, который усматривает “революционный” потенциал в квантовых технологиях. В России фотоника официально рассматривается как прорывная область, но фактически поддержка осуществляется лишь в рамках общих мер, без целенаправленного финансирования. При этом необходимо подчеркнуть существенный момент. За рубежом в фотонику активно инвестирует частный бизнес, тогда как в России развитие данной области в основном опирается на государство. Поэтому в случае недостаточной государственной поддержки повышается риск провала в развитии ряда ключевых технологий, использующих фотонику, включая, например, методы передачи и защиты информации, которые важны практически для любых отраслей экономики. Сложно рассчитывать на то, что отечественный бизнес быстро начнет инвестировать в фотонику в достаточных размерах. Пока динамика показателя доли частного финансирования в суммарных расходах на НИОКР в России отрицательная.

Способна ли РФ сделать рывок в развитии фотоники? Показатели публикационной и патентной активности остаются скромными, хотя в научной части они лучше, чем в целом ряде других перспективных исследовательских фронтов. Фотоника объединяет в себе как традиционные и уже хорошо развитые направления (например, лазерные технологии, где позиция России в сфере исследований и разработок стабильно конкурентные), так и прорывные области (квантовые вычисления, биоинформатика, информационные

приложения фотоники, где мы сильно отстаем от развитых стран).

Для реального прорыва важно сделать выбор в пользу поддержки ограниченного числа наиболее потенциально выигрышных для России технологий, то есть целесообразен нишевый подход. Следует отметить, что выбираемые технологии могут относиться как к категории прорывных, так и тех, пик ожиданий по которым уже пройден. Такие технологические области должны соответствовать по крайней мере трем критериям: (1) наличия потенциала хотя бы на уровне исследовательских заделов, (2) важности области для успешной реализации крупной государственной инициативы, (3) критической массы среднего бизнеса, который был бы готов эти технологии использовать.

Возможным решением может быть концентрация усилий на технологиях, которые в первую очередь будут способствовать реализации НТИ. В подписанной 1 декабря 2016 г. Президентом РФ “Стратегии научно-технологического развития РФ”⁵ НТИ названа одним из главных системных инструментов. Поэтому логично было бы включить ряд поднаправлений фотоники в число сквозных технологий⁶. Это тем более важно, поскольку НТИ представляет собой инструмент активизации не столько науки, сколько технологического бизнеса по перспективным направлениям, а с патентуемыми технологиями, как показал представленный анализ, ситуация в России неблагоприятная. Некоторые направления фотоники уже есть в НТИ. Это – квантовые технологии и сенсорика. И фактически на всех рынках НТИ существует потенциальный спрос и на другие технологии фотоники. Компаниями, участвующими в проектах Аэронет, Маринет и Автонет (например, ПАО “КАМАЗ”, ГК “Когнитивные технологии”, ГК “Геоскан”), могут быть востребованы технологии беспроводной передачи данных и новые материалы на основе эффектов фотоники. Компаниям биомедицинского и агротехнического профиля (ООО “Нейроботикс”, ООО “Фирма “Гавриш”, ЗАО “Р-Фарм”), претендующим на завоевание рынков Нейронет, Хелснет и Фуднет, будут нужны технологии биофотоники.

Перспективным в логике развития НТИ является, на наш взгляд, формирование проектных консорциумов для разработки и коммерциализации важнейших технологий в различных областях фотоники. Консорциумы могут быть организованы по схеме,

⁵ Указ Президента РФ “О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации” № 642 от 01.12.2016 г.

⁶ Термин, введенный в Стратегии НТИ и обозначающий технологии, которые важны для развития разных отраслей экономической деятельности (например, цифровые и квантовые технологии).

отработанной в рамках Постановления Правительства № 218⁷, с корректировками, касающимися возможности участия нескольких индустриальных партнеров. Такой подход позволит объединить ресурсы нескольких компаний для проведения доконкурентных исследований и повысит вероятность успешной

коммерциализации разработанных технологий. Консорциумы могут также формироваться в рамках новой структуры ФЦП “Исследования и разработки”, которая в настоящее время пересматривается с учетом обозначенных в Стратегии научно-технологического развития РФ “больших вызовов” и приоритетных направлений. Следует также подчеркнуть, что в научной области важным компонентом организации работ должна стать международная кооперация, которая позволит быстрее встроиться в общемировые исследовательские фронты.

⁷ Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 “О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. McKinsey Global Institute. *Disruptive Technologies: Advances that Will Transform Life Business and The Global Economy*. 2013. Available at: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies> (accessed 27.12.2016).
2. National Economic Council, Office of Science and Technology Policy. *A Strategy for American Innovation*. October 2015. Available at: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/strategy_for_american_innovation_october_2015.pdf (accessed 15.02.2017).
3. Commission of the European Communities. *Preparing for Our Future: Developing a Common Strategy for Key Enabling Technologies in the EU*. 2009. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009DC0512&from=EN> (accessed 27.12.2016).
4. Ковш И. Б. Производство продукции фотоники в России. *Лазер-Информ*, 2016, № 3–4. [Kovsh I. B. Proizvodstvo produktii fotoniki v Rossii [Production of Photonics in Russia]. *Lazer-Inform*, 2016, no. 3–4.] Available at: <http://bibl.laser.nsc.ru/download/laser-inform/570all.pdf> (accessed 16.10.2016).
5. Anderson S.G. *SPIE Industry Update*. San Francisco, 2015, February. Available at: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjym8PSvpTRAhXGDywkHVG5DEYQFggwMAI&url=https%3A%2F%2Fspie.org%2FDocuments%2FIndustry%2520relations%2FIndustry%2520Profile%2520Analysis%2520by%2520SPIE_2014.pdf&usq=AFQjCNG0NrVApZRsfL21ZVjMMzXKzf0MOW&bvmbv=bv.142059868, d.bGg (accessed 27.12.2016).
6. SPECTARIS, VDMA, ZVEI, BMBF. *Photonics Industry Report 2013. Key Data*. Available at: http://www.photonics21.org/download/UT_Photonik_Handout_English.pdf (accessed 27.12.2016).
7. Schumpeter J. *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interests and the Business Cycle*. London, Oxford University Press, 1934. 255 p.
8. Mensch G. *Stalemate in Technology: Innovations Overcome the Depression*. Cambridge (Mass.), Ballinger Pub. Co., 1979. 241 p.
9. Duijn J. van. *The Long Wave in Economic Life*. London, George Allen and Unwin, 1983. 239 p.
10. Helpman E., Trajtenberg M. *Diffusion of General Purpose Technologies. Working Paper no. 5773*. Cambridge (Mass.), National Bureau of Economic Research, September 1996. Available at: <http://www.nber.org/papers/w5773.pdf> (accessed 27.12.2016).
11. Dosi G. Technological Paradigms and Technological Trajectories. *Research Policy*, 1982, no. 11, pp. 147-162.
12. Perez C. *Technological Revolutions and Financial Capital: the Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. London, Elgar, 2002. 224 p.
13. Глазьев С. Ю. *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. Москва, ВлаДар, 1993. 310 с. [Glaz'ev S. Yu. *Teoriya dolgosrochnogo tekhniko-ekonomicheskogo razvitiya* [The Theory of Long-Term Technical and Economic Development]. Moscow, VlaDar, 1993. 310 p.]
14. Silverberg G., Verspagen B. Breaking the Waves: a Poisson Regression Approach to Schumpeterian Clustering of Basic Innovations. *Cambridge Journal of Economics*, 2003, vol. 27 (5), pp. 671-693.
15. Tushman M., Anderson P. Technological Discontinuities and Organizational Environments. *Administrative Science Quarterly*, 1986, no. 3, pp. 439-465.
16. Christensen C. M. *The Innovator's Dilemma: when New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, Harvard Business School Press, 1997. 225 p.

17. Utterback J. *Mastering the Dynamics of Innovation: how Companies Can Seize Opportunities in the Face of Technological Change*. Boston, Harvard Business School Press, 1994. 253 p.
18. Ortt J.R., Shah C.M., Zegveld M.A. *Strategies to Commercialize Breakthrough Technologies*. *IAMOT Proceedings*, 2007. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1442525 (accessed 27.12.2016).
19. National Research Council, Panel on Photonics Science and Technology Assessment; Solid State Sciences Committee; Board on Physics and Astronomy; Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications; Division on Engineering and Physical Sciences. *Photonics: Maintaining Competitiveness in the Information Era*. Washington, The National Academies Press, 1988. 112 p. DOI: 10.17226/1145.
20. National Research Council, Committee on Optical Science and Engineering; Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications; Division on Engineering and Physical Sciences. *Harnessing Light: Optical Science and Engineering for the 21st Century*. Washington, The National Academies Press, 1998. 360 p. DOI: 10.17226/5954.
21. Sternberg E. *Photonic Technology and Industrial Policy. U. S. Responses to Technological Change*. Albany, State University of New York Press, 1992. 311 p.
22. Peach M. *OFC2016: Silicon Photonics Launches for Growing Market*. 2016. Available at: <http://optics.org/news/7/3/35> (accessed 27.12.2016).
23. *Quantum Manifesto. A New Era of Technology*. May 2016. Available at: http://quope.eu/system/files/u7/93056_Quantum%20Manifesto_WEB.pdf (accessed 27.12.2016).
24. Lloyd S. *Looking Forward to a New Year for Flagship Innovation*. 2016. Available at: <http://graphene-flagship.eu/looking-forward-to-a-new-year-for-flagship-innovation> (accessed 27.12.2016).
25. Wills S. Finding a Voice for Photonics. *Optics and Photonics News*, 2014, Vol. 25, Issue 9, September. Available at: http://www.osa-opn.org/home/articles/volume_25/september_2014/departments/finding_a_voice_for_photonics/ (accessed 27.12.2016).
26. FTAC-OP. *Building a Brighter Future with Optics and Photonics*. 2014. Available at: http://www.osa.org/getattachment/f78a3183-1aaa-4150-91d5-b9e240909c6a/Fast-Track_Committee_Report_on_Optics_Photonics.aspx.pdf (accessed 27.12.2016).
27. Overton G. NPI Applauds DOD Finalists for Integrated Photonics Institute. *LaserFocusWorld*. 2015. Available at: <http://www.laserfocusworld.com/articles/2015/02/npi-applauds-dod-finalists-for-integrated-photonics-institute.html> (accessed 27.12.2016).
28. *NIH Nearly Doubles Investment in BRAIN Initiative Research*. Available at: <https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-nearly-doubles-investment-brain-initiative-research> (accessed 30.01.2017).
29. The National Academies of Science, Engineering, Medicine. *Triennial Review of the National Nanotechnology Initiative*. 2016. Available at: <https://www.nap.edu/catalog/23603/triennial-review-of-the-national-nanotechnology-initiative> (accessed 30.01.2017).
30. *SPIE. Signing of Horizon 2020 Partnership Will Strengthen European Photonics, Says Kroes*. 2013. Available at: <http://spie.org/newsroom/1217-horizon2020> (accessed 27.12.2016).
31. *Photonics 21. A Photonics Private Public Partnership in Horizon 2020*. 2013. Available at: http://www.photonics21.org/download/Photonics21_Association/A_Photonics_Private_Public_Partnership_Photonics_PPP_proposal_final-final.pdf (accessed 27.12.2016).
32. *SPIE. Photonics Innovation in Europe's Horizon 2020*. January 2014. Available at: https://spie.org/membership/spie-professional-magazine/spie-professional-archives-and-special-content/2014_jan_archive_spie_pro/horizon2020 (accessed 27.12.2016).
33. *Photonics 21. Photonics PPP Annual Activity Report 2015*. Available at: <https://www.yumpu.com/en/document/view/55246046/photonics21-annual-report-final> (accessed 30.01.2017).
34. *European Commission. Horizon 2020 Monitoring Report 2015*. Available at: http://ec.europa.eu/research/evaluations/pdf/archive/h2020_monitoring_reports/second_h2020_annual_monitoring_report.pdf (accessed 30.01.2017).
35. Wilkens M. *Photonics – Towards a Public Private Partnership in Horizon 2020*. 2013. Available at: <http://www.swissphotonics.net/libraries.files/Wilkens.pdf> (accessed 27.12.2016).
36. Kupferschmidt K. *Europe to Bet up to €1 Billion on Quantum Technology*. 2016. Available at: <http://www.sciencemag.org/news/2016/04/europe-bet-1-billion-quantum-technology> (accessed 27.12.2016).
37. Kato Y., Gonokami M., Kodama R., Sano Y., Yagi S., Yabuzaki T. *Photon Frontier Network*. 2011. Available at: <http://www.c-phost.jp/wp-content/uploads/2011/09/photon-frontier-network.pdf> (accessed 27.12.2016).

38. OITDA. *Annual Technical Report 2014*. 2015. Available at: <http://www.oitda.or.jp/main/ar/atr2014.pdf> (accessed 27.12.2016).
39. Ковш И. Б. *Технологическая платформа “инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника”. Состояние на март 2012 г.* [Kovsh I. B. *Tekhnologicheskaya platforma “innovatsionnye lazernye, opticheskie i optoelektronnye tekhnologii – fotonika”. Sostoyanie na mart 2012 g.* [Technology Platform “Innovative laser, optical and optoelectronic technologies – photonics”. Status as of March 2012]] Available at: <http://gosbook.ru/node/57933> (accessed 27.12.2016).
40. Фролов А.С., Дежина И. Г. Оценка развития фотоники в России: рынки и государственная поддержка. *ЭКО*, 2016, № 9. [Frolov A.S., Dezhina I. G. Otsenka razvitiya fotoniki v Rossii: rynki i gosudarstvennaya podderzhka [Assessment of the Development of Photonics in Russia: Markets and Government Support]. *ECO*, 2016, № 9]. Available at: <http://ecotrends.ru/archive/677-edition-09/2537-2014-06-24-07-18-25> (accessed 27.12.2016).
41. *Наука, технологии и инновации России: крат. стат. сб.* Гл. ред. Миндели Л. Э. Москва, ИПРАН РАН, 2016. 93 с. [Mindeli L.E., ed. *Nauka, tehnologii i innovacii Rossii: krat. stat. sb.* [Science, Technology and Innovation Russia: a Brief Statistical Collection]. Moscow, IPRAN RAN, 2016. 93 p.]

SEARCHING FOR BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES: PHOTONICS CASE

(*World Economy and International Relations*, 2017, vol. 61, no. 6, pp. 14-22)

Received 30.01.2017.

Irina G. DEZHINA (i.dezhina@skoltech.ru),
 Skolkovo Institute of Science and Technology, 3, Nobelya Str., Territory of innovation center Skolkovo, Moscow, 143026, Russian Federation.
 Gaidar Institute for Economic Policy, 5, Gazetnyi Per., Moscow, 125993, Russian Federation.
 Alexander S. FROLOV (a.frolov@skoltech.ru),
 Skolkovo Institute of Science and Technology, 3, Nobelya Str., Territory of innovation center Skolkovo, Moscow, 143026, Russian Federation.

Acknowledgement. The article is based on the project “Development of public analytical report on scientific and technological direction critical for the development of sectors of the Russian economy – Photonics” financed by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (unique identifier RFMEFI60315X0011).

This article treats the problem of identifying and supporting breakthrough technologies concerning the case of photonics. Breakthrough, disruptive or key enabling technologies (the most appropriate term depends on focus of analysis) attract special attention because they may increase competitiveness in several economic sectors simultaneously for existing and new markets. The authors focus attention to the photonics technologies which breakthrough potential has not been established yet. The goal is to define the role of scientific communities, private businesses and governments in the developed countries and in Russia in the promotion of these technologies. Foreign experience in supporting photonics at the state level is considered. The available bibliometric and patent data is analyzed to evaluate Russia's potential for developing photonics, as well as for defining possible mechanisms that can enable the nation's scientific and technological development in this area. The point is made that in the USA and Japan photonics is currently perceived as a breakthrough technology mostly by business and research communities. At the government level it mostly has a status of “enabling” technology that facilitates the development of other technologies and projects of national importance. Only the European Union regards some areas of photonics (e.g., quantum computing) as breakthrough technology. In Russia, photonics was initially promoted by business associations but later became the focus of the government interest. The bibliometric and patent analysis shows that Russia holds scientific potential in several areas of photonics; however activities directed toward their commercialization remain insignificant. The authors point at the need to define a restricted number of photonics' areas (not necessarily of a breakthrough nature) that would have the largest impact on economic competitiveness. Then, the government should elaborate and use special instruments (e.g., consortia) for supporting them. For maximum efficiency the respective scientific activities should be conducted within the framework of international cooperation. Also, the development of photonics' technologies needs to be addressed in the context of the Russian National Technology Initiative.

Keywords: breakthrough technology, enabling technology, government policy, photonics, Russia, bibliometric analysis, patents, policy instruments.

About authors:

Irina G. DEZHINA, Dr. Sci. (Econ.), Head of research group, Leading Researcher.

Alexander S. FROLOV, Analyst on industrial policy.

DOI:10.20542/0131-2227-2017-61-6-14-22