ДИНАМИКА И СТРУКТУРА ПАТЕНТОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР

DYNAMICS AND STRUCTURE OF PATENTING CARBON NANOSTRUCTURES

УДК 661.66; ВАК 05.16.08; DOI: 10.22184/1993-8578.2018.80.1.74.83

А.Терехов*, к.ф.-м.н. / a.i.terekhov@mail.ru
A.Terekhov*, Ph.D.

Выполнен патентный анализ углеродного направления нанотехнологий. Сопоставлены публикационная и патентная активность в данной области, а также тематическая структура публикаций и патентуемых изобретений. Рассмотрены особенности тематической структуры российских изобретений, возможные направления и трудности их коммерциализации. Исходная информация получена из баз данных Роспатента, USPTO, WIPO PATENTSCOPE, а также Science Citation Index Expanded.

Patent analysis of the carbon direction of nanotechnology has been performed. The publication and patent activity in this direction as well as the thematic structure of publications and patented inventions were compared. The features of the thematic structure of Russian inventions and also possible directions and difficulties of their commercialization are considered. The initial information was obtained from the databases of Rospatent, US PTO, WIPO PATENTSCOPE, and Science Citation Index Expanded.

Углеродные наноструктуры – важнейшие представители наномира, открытие которых ускорило рождение нанотехнологий (НТ). В настоящее время они входят в повестку дня трех укрупненных секторов экономики – нанoeлектроники, нанобиотехнологии и нанoэнергетики, где ожидается реализация основного потенциала НТ. Публикации и патенты часто используют для количественных оценок эффективности инновационных процессов. В настоящей статье выполнен анализ патентования углеродных наноструктур с использованием баз данных (БД) Роспатента, US PTO и WIPO PATENTSCOPE. Наряду с традиционной триадой "фуллерены – углеродные нанотрубки (УНТ) – графен" в рассмотрение включены нанoалмазы, а также другие формы наноуглерода (ДФНУ), например нанопористый углерод, нанографит, нановолокна и др. Анализ охватывает период 2000-х годов, в течение которого многие страны вслед за США реализовывали свои нанотехнологические программы. В части, относящейся к России, его результаты могут быть полезны при обосновании инновационной политики.

КРАТКАЯ БИБЛИОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ УГЛЕРОДНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Поскольку в инновационной цепочке патентам предшествуют научные публикации, приведем ряд библиометрических индикаторов, рассчитанных на основе БД Science Citation Index Expanded (SCIE). Согласно рис.1, интерес в мире к исследованию углеродных наноструктур продолжает увеличиваться со среднегодовым темпом роста числа научных публикаций 14% за последние семь лет. Структуру этого роста характеризует рис.2, показывающий своеобразный закат "эры фуллеренов", расцвет и постепенное угасание "эры УНТ", стремительное восхождение графена, а также невысокий "нишевый" интерес к наноалмазам и другим формам наноуглерода. Заметим, что в указанный период произошли значительные изменения в географии исследователей: выпуск публикаций стали определять крупные азиатские игроки (более 68% в 2015 году), а Китай стал неоспоримым лидером на обозримую перспективу, поскольку его ближайший преследователь (США) отстает по своему вкладу на 26 процентных пунктов (п.п.).

* Центральный экономико-математический институт РАН / Central Economics and Mathematics Institute, RAS.

Рис.1. Динамика публикационной (левая шкала) и патентной (правая шкала) активности в области углеродных наноструктур

Fig.1. Dynamics of publication (left scale) and patent (right scale) activities in field of carbon nanostructures

Рис.2. Изменение тематической структуры мирового выхода публикаций по углеродным наноструктурам

Fig.2. Change of thematic structure of world output of publications on carbon nanostructures

Carbon nanostructures are the most important representatives of the nanoworld, the discovery of which accelerated the birth of nanotechnology (NT). At present they are on the agenda of three enlarged economic sectors – nanoelectronics, nanobiotechnology and nanoenergetics, where the realization of the main potential of NT is expected. Publications and patents are often used to quantify the effectiveness of innovation processes. In this paper, an analysis of the patenting of carbon nanostructures using the databases (DB) of Rospatent, US PTO and WIPO PATENTSCOPE is presented. Along with the traditional triad of "fullerenes – carbon nanotubes (CNTs) – graphene", nanodiamonds, as well as other forms of nanocarbon (OFNC), for example, nanoporous carbon, nanographite, nanofibers, etc., are considered. The analysis covers the period of the

2000s, during which many countries followed the US to implement their nanotechnology programs. In the part relating to Russia, its results can be useful in justifying the innovation policy.

BRIEF BIBLIOMETRIC DESCRIPTION OF DEVELOPMENT OF CARBON MATERIALS

As in the innovation chain the patents are preceded by scientific publications, we present a number of bibliometric indicators calculated on the basis of the Science Citation Index Expanded (SCIE). According to Fig.1, the interest in the study of carbon nanostructures continues to increase in the world with the average annual growth rate of the number of scientific publications of 14% over the past seven years. The structure of this growth is characterized by Fig.2, showing the peculiar sunset of the "fullerene

era", the flourishing and gradual fading of the "CNT era", the rapid ascent of graphene, and also the low "niche" interest in nanodiamonds and other forms of nanocarbon. It should be noted that during this period there have been significant changes in the geography of researchers: the publications of papers began to be determined by major Asian players (more than 68% in 2015), and China has become an unchallenged leader for the foreseeable future, as its closest pursuer (USA) lags behind in its contribution to 26 percentage points (pp.). Together with the structure, the indicators of scientific impact also began to change, for example, since 2011 China has outstripped the United States, and South Korea has outstripped Germany on the contribution to the top 10% of the most cited publications in this area. Singapore, in turn, has

Рис.3. Тематическая структура заявок PCT WIPO в области углеродных наноструктур

Fig.3. Thematic structure of PCT WIPO applications in field of carbon nanostructures

Рис.4. Тематическая структура патентов US PTO в области углеродных наноструктур

Fig.4. Thematic structure of US PTO patents in field of carbon nanostructures

Вместе со структурой стали меняться и показатели научного воздействия, например, с 2011 года Китай опередил США, а Южная Корея – Германию по вкладу в топ-10% наиболее цитируемых публикаций в рассматриваемой области. Сингапур, в свою оче-

редь, с 2012 года обошел Францию и Великобританию по вкладу в топ-1% самых цитируемых публикаций. Россия занимала в 2015 году девятое место по продуктивности, однако, по средней цитируемости публикаций входила лишь в четвертую десятку.

bypassed France and Britain since 2012 in terms of contribution to the top 1% of the most cited publications. Russia was in ninth place in 2015 in terms of productivity, however, according to the average citation of publications, it was only in the fourth ten.

ANALYSIS OF PATENT ACTIVITY BASED ON US PTO AND WIPO PATENTSCOPE DATABASES

The intensity of the transformation of scientific knowledge into patentable results can characterize the following integral ratio: about 4.4 US PTO patents and the same number of PCT WIPO applications per 100 publications in the period of

2000–2016. It is worth noting that carbon nanostructures do not refer to leaders in this case. Large commercial maturity is demonstrated, for example, by lasers, where there were 28 US PTO patents and 17 PCT WIPO applications per 100 publications over the same period. Fig.1 shows that the world's publication and patent activities (according to the US PTO database) grew at almost the same pace, while the dynamics of filing PCT WIPO applications in recent years has become noticeably lagging behind. As it follows from Fig.3 and Fig.4, the thematic structure of the patent results in international databases is mainly determined by the rivalry

between CNT and graphene, and if graphene outstripped the CNT in the PCT WIPO applications from 2013, then in US PTO patents they practically equaled only in 2016 year. The remaining types of nanostructures serve only as a background for this rivalry. Fig.5 shows that the thematic structures of publications on carbon nanostructures and filed PCT WIPO applications correlate well enough among themselves.

INVENTIVE ACTIVITY OF RUSSIANS AND STRUCTURE OF PATENTING

The most important international economic bloc with the participation of Russia is the BRICS, which

АНАЛИЗ ПАТЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ БД US PTO И WIPO PATENTSCOPE

Интенсивность трансформации научного знания в патентуемые результаты может характеризовать следующее интегральное соотношение: примерно 4,4 патента US PTO и столько же заявок PCT WIPO приходится на 100 публикаций за период 2000–2016 годов. Стоит отметить, что углеродные наноструктуры не относятся в данном случае к лидерам. Большую коммерческую зрелость демонстрируют, например, лазеры, где на 100 публикаций за тот же период приходилось 28 патентов US PTO и 17 заявок PCT WIPO. Рис.1 показывает, что мировые публикационная и патентная активности (согласно БД US PTO) росли практически одинаковыми темпами, тогда как динамика подачи заявок PCT WIPO в последние годы стала заметно отставать. Как следует из рис.3 и 4, тематическую структуру патентуемых результатов в международных базах данных в основном определяет соперничество между УНТ и графеном, причем, если в заявках PCT WIPO графен опередил УНТ с 2013 года, то в патентах US PTO они практически сравнялись только в 2016 году. Остальные типы наноструктур служат лишь фоном для этого соперничества. Рис.5 показывает, что тематические структуры публикаций по углеродным наноструктурам и подаваемых заявок PCT WIPO достаточно хорошо коррелируют между собой.

ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКАЯ АКТИВНОСТЬ РОССИЯН И СТРУКТУРА ПАТЕНТОВАНИЯ

Важнейшим международным экономическим блоком с участием России является БРИКС, который

Рис.5. Тематическая структура (в %) публикаций и заявок PCT WIPO в области углеродных наноструктур, 2000–2015 гг.

Fig.5. Thematic structure (in %) of PCT WIPO publications and applications in field of carbon nanostructures in 2000–2015

в последние годы заметно наращивает изобретательскую активность. Например, доля заявок PCT WIPO, в которых хотя бы один из изобретателей является гражданином одной из стран БРИКС, увеличилась с 3,8% в 2010 году до 17,2% в 2016 году. Для сравнения: за тот же период аналогичная доля ЕС-28 уменьшилась с 23,9 до 19,5%. Локомотивом выступает Китай.

in recent years has significantly increased its inventive activity. For example, the percentage of PCT WIPO applications in which at least one of the inventors is a citizen of one of the BRICS countries increased from 3.8% in 2010 to 17.2% in 2016. For comparison: during the same period the similar share of EU-28 decreased from 23.9% to 19.5%. The locomotive is China. Its citizens are among the inventors in 843 US PTO patents for carbon nanostructures issued in 2000–2016. Further, with a large margin follows: India, Russia, Brazil and South Africa, whose representatives participated in 51, 33, 10 and 1 US PTO patents, respectively. A peculiar indicator of the

"donorship" of the country can be considered the share of its patents (on the principle of citizenship of at least one inventor), which are issued to the patent owner of another state. The lowest value of this indicator (6%) is typical for China, the largest (58%) – for Russia, that is, Russians connect the commercial prospects of their inventions with the national business to a much lesser extent than representatives of other BRICS countries.

88.4% of US PTO patents with the participation of Chinese inventors, 74.5% – of Indian inventors, 70% – of Brazilian inventors are devoted to CNTs. The same topic is considered in a single patent, obtained

with the participation of inventors of South Africa. At the same time, only 15.2% of patents with Russian participation are devoted to CNTs, the remaining topics are as follows: 42.4% – fullerenes and their derivatives; 18.1% – nanodiamonds; 15.2% – OFNC and 9.1% – graphene. Already with the example of this small sample, the specifics of the interests of Russian inventors in the area under consideration are visible. Among the US PTO patents of the Russian patent owners, the following can be singled out:

- US 6245312 issued in 2001 to the Troitsk Superhard Materials scientific technological centre, which was later transformed

Рис.6. Тематическая структура российских патентов в области углеродных наноструктур

Fig.6. Thematic structure of Russian patents in field of carbon nanostructures

Его граждане входят в число изобретателей в 843 патентах US PTO на углеродные наноструктуры, выданных в 2000–2016 годах. Далее с большим отрывом следуют: Индия, Россия, Бразилия и ЮАР, представители которых участвовали в 51, 33, 10 и 1 патентах US PTO соответственно. Своеобразным показате-

лем "донорства" страны можно считать долю ее патентов (по принципу гражданства хотя бы одного изобретателя), которые выданы патентовладельцу другого государства. Наименьшее значение этого показателя (6%) у Китая, наибольшее (58%) – у России, то есть россияне связывают коммерческие перспективы своих изобретений с национальным бизнесом в значительно меньшей степени, чем представители других стран БРИКС.

УНТ посвящены 88,4% патентов US PTO с участием китайских изобретателей, 74,5% – индийских, 70% – бразильских. Эта же тема рассматривается в единственном патенте с участием изобретателей ЮАР. Вместе с тем, УНТ посвящены только 15,2% патентов с российским участием, остальные темы распределены следующим образом: 42,4% – фуллерены и их производные; 18,1% – наноалмазы; 15,2% – ДФНУ и 9,1% – графен. Уже на примере этой небольшой выборки видна специфика интересов российских изобретателей в рассматриваемой области. Среди патентов US PTO, выданных российским патентовладельцам, можно выделить следующие:

- патент № 6245312 US, выданный в 2001 году троицкому Научно-техническому центру "Сверхтвердые материалы", который позднее был преобразован в Институт сверхтвердых и новых углеродных материалов (ТИСНУМ), на способ получения сверхтвердого фуллерита и изделий на его основе;
- патент № 7867467 US, выданный в 2011 году ЗАО "Алмазный центр" (Санкт-Петербург), на способ получения наноалмаза;

into the Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials (TISNCM), on the method for obtaining superhard fullerite and products based on it;

- US 7867467 issued in 2011 to the Diamond Centre (St. Petersburg), on the method for obtaining nanodiamond;
- US 9090752 issued in 2015 to an individual patent holder from St. Petersburg, on multi-layer carbon nanoparticles of fulleroid type;
- US 9096492 issued in 2015 to an individual patent holder from Nizhny Novgorod, for hydrated n-fullerene amino acids, a method for their production and

the development of pharmaceutical compositions based on them;

- US 9254340 issued in 2016 to the Almaz Pharm (Moscow), on the method for obtaining a nanodiamond and glycine conjugate for the delivery of glycine to the body.

On the other hand, US PTO patents with the participation of Russian inventors were issued to such well-known foreign companies as Samsung Electronics (South Korea), Siemens (Germany), Ceram Optec Industries (USA), etc.

According to the sample produced from the database of Rospatent, 1109 patents of the

Russian Federation for inventions in the field of carbon nanostructures were issued during the period under review. Their thematic structure (Fig.6) differs significantly from US PTO patents and PCT WIPO applications. For example, the number of patents related to CNTs surpassed the number of patents on fullerenes only in 2009, and the number of patents related to graphene only slightly surpassed the number of patents for nanodiamonds and OFNC in 2016.

From the point of view of forming a business ecosystem, it is important who is the recipient of patents. It can be noted that the share of institutes of the Russian

Структура собственников российских патентов на углеродные наноструктуры

Structure of owners of Russian patents for carbon nanostructures

Категория патентовладельца Type of patentee	Доля патентов, выданных Роспатентом данной категории патентовладельцев, % Share of patents issued by Rospatent to this type of patentee, %		
	1997–2007	2008–2013	2014–2016
Институты РАН Institutes of RAS	34,8	25,3	18,1
Индивидуальные патентовладельцы Individual patent owners	24,4	23,7	18,4
Российские коммерческие компании Russian commercial companies	18,4	20,1	18,1
ФГУПы FSUEs	13,2	7,3	3,8
Университеты Universities	8,8	20,8	23,0
Иностранные компании Foreign companies	4,4	7,3	16,2
Прочие Other	0,4	3,5	5,5

Примечание. Сумма в столбцах может превышать 100%, поскольку у одного патента может быть несколько патентовладельцев.

Note. The amount in the columns may exceed 100%, since one patent may have several patent owners.

- патент № 9090752 US, выданный в 2015 году индивидуальному патентовладельцу из Санкт-Петербурга, на многослойные углеродные наночастицы фуллероидного типа;
- патент № 9096492US, выданный в 2015 году индивидуальному патентовладельцу из Нижнего Новгорода, на гидратированные п-фуллерен-аминокислоты, способ их получения и создание фармацевтических композиций на их основе;
- патент № 9254340 US, выданный в 2016 году ЗАО "Алмаз Фарм" (Москва), на способ получения конъюгата наноалмаза с глицином для доставки глицина в организм.

Academy of Sciences, FSUEs and individual patent owners among the selected categories of patent holders has been consistently decreased. On the contrary, universities and foreign companies steadily increased their share (Table). If the first could be a consequence of government measures to create an innovative infrastructure of universities, the second should cause some concern. It should be noted that domestic business, slightly increasing its share in 2008-2013, then again lowered it. 57 patents of the Russian Federation (about 41% of all patents of the corporate sector) were issued in 2013-2016 to the

foreign companies such as Gurdian Industries (USA), ExxonMobil (USA), BASF (Germany), Photonics France (France), Koninklijke Philips Electronics (Netherlands), etc. Since domestic business still pays little attention to patenting abroad, foreign companies often become co-owners of patents for inventions involving Russians, as it was in 19 out of 33 US patents and in 30 of 87 PCT WIPO applications. This creates certain risks of leakage of patentable ideas.

POSSIBLE AREAS AND DIFFICULTIES OF COMMERCIALIZATION

Perhaps, none of the other representatives of the nanoworld had so

many optimistic expectations for revolutionary changes in the economy and other spheres of human life, as with the triad of "fullerenes – CNT – graphene". However, the realization of the enormous potential of this triad was not as easy and fast as expected [1].

In Russia, a number of specialized start-ups were established and successfully operated already in the 1990s. Among them, UNICHIMTEK (intercalated graphite compounds) from Klimovsk, St. Petersburg-based ASTRIN-HOLDING (fulleroid carbon nanomaterials), ILIP (materials based on fullerene) and Diamond Centre (ultra-dispersed diamonds), as well as Fullerene

С другой стороны, патенты US PTO с участием российских изобретателей были выданы таким известным зарубежным компаниям, как Samsung Electronics (Южная Корея), Siemens (Германия), Ceram Optec Industries (США) и др.

Согласно выборке, произведенной из БД Роспатента, в рассматриваемый период было выдано 1109 патентов РФ на изобретения в области углеродных наноструктур. Их тематическая структура (рис.6) значительно отличается от патентов US PTO и заявок PCT WIPO. Так, количество патентов, связанных с УНТ, только в 2009 году превысило количество патентов по фуллеренам, а число патентов, связанных с графеном, лишь к 2016 году незначительно превзошло количество патентов по наноалмазам и ДФНУ.

С точки зрения формирования деловой экосистемы важно, кто является получателем патентов. Можно отметить последовательное снижение среди выделенных категорий патентовладельцев доли институтов РАН, ФГУП и индивидуальных патентовладельцев. Напротив, свои доли поступательно наращивали университеты и иностранные компании (см. таблицу). Если первое могло быть следствием мер правительства по формированию инновационной инфраструктуры университетов, то второе должно вызывать определенные опасения. Заметим, что отечественный бизнес, слегка повысив свою долю в 2008–2013 годах, затем опять ее снизил. 57 патентов РФ (около 41% всех патентов корпоративного сектора) выданы в 2013–2016 годах зарубежным компаниям, среди которых Gurdian Industries (США), Exxon Mobil (США), BASF

(Германия), Photonics France (Франция), Koninklijke Philips Electronics (Нидерланды) и др. Поскольку отечественный бизнес пока уделяет мало внимания патентованию за рубежом, совладельцами патентов на изобретения с участием россиян нередко становятся иностранные компании, как это было в 19 из 33 патентах US PTO и в 30 из 87 заявках PCT WIPO. Это создает определенные риски утечки патентоспособных идей.

ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ТРУДНОСТИ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ

Пожалуй, ни с какими из других представителей наномира не было связано столько оптимистических ожиданий на революционные преобразования в экономике и других сферах человеческой жизни, как с триадой "фуллерены – УНТ – графен". Однако реализация огромного потенциала этой триады оказалась не такой легкой и быстрой, как ожидалось [1].

В России ряд специализированных стартапов были основаны и успешно работали еще в 1990-х годах. Среди них ЗАО НПО "УНИХИМТЕК" (интеркалированные соединения графита) из Климовска, Санкт-Петербургские ЗАО "АСТРИН-ХОЛДИНГ" (углеродные наноматериалы фуллероидного типа), ЗАО "ИЛИП" (материалы на основе фуллерена) и ЗАО "Алмазный центр" (ультрадисперсные алмазы), а также ЗАО "Фуллерен-Центр" (производство фуллеренов) из Нижнего Новгорода.

ФГБНУ ТИСНУМ, основанный в 1995 году как Научно-технический центр "Сверхтвердые материалы", длительное время успешно сочетает плодотворную научно-исследовательскую деятельность с патентованием

Centre (production of fullerenes) from Nizhny Novgorod.

TISNУM, founded in 1995 as the Superhard Materials scientific technological centre, has long been successfully combining fruitful research and development with the patenting and commercialization of its results. The Institute for the first time created a technology for the synthesis of superhard fullerite C_{60} , confirming its priority by obtaining in 2001 a US PTO patent. Later on, it developed methods for producing a superhard composite on the basis of carbon (RU 2491987, RU 2523477, RU 2547485, RU 2556673) for applications in the space and aviation industries, in metalworking,

and in the mining industry. In general, the subject matter of Russian inventions is related to a rather wide range of applications of fullerenes and their derivatives, for example, in medicine and pharmaceuticals, laser energy and the production of nonlinear optical media for laser power limiters, insulating materials, solar batteries, display technology, etc.

In recent years, there has been growing interest in the possible use of nanodiamonds in composites, lubricants and as drug delivery vehicles [2]. Russia has historical traditions in the production and use of this material. For example, Diamond Centre has developed a

safe and reliable method of nanodiamond synthesis with improved technical, economic and environmental parameters that allows to organize a wide production of the product (RU 2348580 and US 7867467). SKN (Snezhinsk) received the patent RU 2452686 for a device for cleaning and modification of nanodiamond; in addition, it was filed PCT application WO/2008/143554. Altai JSC (Biysk), which organized the first mass production of nanodiamonds in Russia, has seven Russian patents for their application in engineering, chemistry and pharmaceutical industry. Almaz Pharm received three Russian patents (RU 2555350,

и коммерциализацией ее результатов. Институт впервые создал технологию синтеза сверхтвердого фуллерита C_{60} , подтвердив свой приоритет получением в 2001 году патента US PTO. В дальнейшем им разработаны способы получения сверхтвердого композиционного материала на основе углерода (патенты РФ № 2491987, 2523477, 2547485, 2556673) для применений в ракетно-космической и авиационной отраслях, при металлообработке, в горнодобывающей промышленности. Вообще, тематика российских изобретений связана с довольно широким спектром приложения фуллеренов и их производных, например, в медицине и фармацевтике, лазерной энергетике и получении нелинейно-оптических сред для ограничителей мощности лазерного излучения, в изоляционных материалах, солнечных батареях, дисплейной технике и др.

В последние годы растет интерес к возможному применению наноалмазов в композитах, смазочных материалах и в качестве средств доставки лекарств [2]. Россия имеет исторические традиции в производстве и использовании этого материала. Например, ЗАО "Алмазный Центр" разработал безопасный и надежный способ синтеза наноалмаза с улучшенными техническими, экономическими и экологическими параметрами, который позволяет организовать широкое производство продукта (патенты РФ № 2348580 и US PTO № 7867467). ООО "СКН" (Снежинск) получил патент РФ № 2452686 на устройство для очистки и модификации наноалмаза; кроме того, им была подана заявка РСТ № WO/2008/143554. АО ФНИЦП "Алтай" (Бийск), организовавшее первое

в России массовое производство наноалмазов, имеет семь патентов РФ на их применение в технологиях машиностроения, химии и фармацевтической промышленности. ЗАО "Алмаз Фарм" получил три российских патента (№ 2555350, 2560697, 2560700) и патент US PTO (№ 9254340) на системы доставки биологически активных веществ в организм с использованием наноалмаза. В совокупности российские патенты охватывают практически все из перечисленных выше областей применения наноалмазов.

Российские ученые, открывшие нанопористый углерод, хотя впоследствии и упустили приоритет на его производство, имеют ряд изобретений, касающихся его применения в качестве сорбентов для ртутьсодержащих отходов (патент РФ № 2522676), для создания радиопоглощающих материалов (патент РФ № 2570794), для аккумуляции природного газа (патент РФ № 2625671) и др.

И, все-таки, глобальным трендом 2000-х годов стали УНТ и, позже, графен. Россия не среагировала вовремя на переключение мирового исследовательского интереса с фуллеренов на УНТ. Одно время мы не могли обеспечить нанотрубками нужного качества даже лаборатории, что тормозило исследования и, по цепочке, патентную активность [3]. То же относится и к графену. Сейчас в отношении УНТ положение постепенно выправляется. В стране есть несколько производителей многостенных УНТ, один из которых – ООО "НаноТехЦентр" в Тамбове. Одностенные УНТ, правда, в масштабах, обеспечивающих лишь исследовательские потребности, производит

RU 2560697, RU 2560700) and US 9254340 for systems for the delivery of biologically active substances into the body using nanodiamond. In aggregate, Russian patents cover almost all of the above fields of application of nanodiamonds.

Russian scientists who discovered nanoporous carbon, although they later lost the priority for its production, have a number of inventions concerning its use as sorbents for mercury-containing waste (RU 2522676), for creating radio absorbing materials (RU 2570794), for accumulation of natural gas (RU 2625671), etc.

And, nevertheless, the global trend of the 2000s was CNT and,

later, graphene. Russia did not react in time to switch the world's research interest from fullerenes to CNTs. At one time, we could not even provide laboratories with nanotubes of the required quality, which inhibited the research and, through the chain, patent activity [3]. The same applies to graphene. Now, with respect to CNT, the situation is gradually straightening out. In the country there are several manufacturers of multi-walled CNTs, one of which is NanoTechCenter (Tambov). Single-walled CNTs on a scale that provides only research needs, produces Carbon Chg (spin-off company of the Institute of Problems

of Chemical Physics of RAS in Chernogolovka). And the OCSiAl (Novosibirsk) recently introduced the TUBALL material with a high content of single-walled CNTs (> 75%) at a cost 50 times lower than products of comparable quality.

OCSiAl deserves special attention due to the stated objectives (mass production of CNTs) and participation of RUSNANO in the project. In addition, in this case, domestic business is actively seeking to enter the international market. The company was founded in 2009 by four individuals. The developer of the original technology for the production of single-walled CNTs is M.R. Predtechensky, a scientist

ООО "Углерод Чг" (спин-офф компания Института проблем химической физики РАН в Черноголовке). Наконец, технологическая компания OCSiAl (Новосибирск) недавно вывела на рынок материал TUBALL с высоким содержанием одностенных УНТ (>75%) и ценой в 50 раз ниже, чем у продуктов сравнимого качества.

OCSiAl заслуживает особого внимания в силу заявленных задач (массовое производство УНТ) и участия в проекте РОСНАНО. Кроме того, в данном случае отечественный бизнес активно стремится выйти на международный рынок. Компания была основана в 2009 году четырьмя физическими лицами. У истока создания оригинальной технологии получения одностенных УНТ стоял М.Р.Предтеченский – ученый из Института теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН. Основу составил разработанный и запатентованный им в 2000 году в России (патент РФ № 2157060) и в 2005 году в США (патент № 6846467 US) плазмохимический реактор. Метод синтеза УНТ был запатентован в 2012–2013 годах люксембургской компанией MCD Technologies (патент РФ № 2478572; патенты № 8137653 US и 8551413 US). Технология реализована в пилотной промышленной установке синтеза одностенных УНТ Graphetron 1.0, которая запущена в 2013 году в Технопарке Новосибирского Академгородка компанией OCSiAl. Установка производит до 10 т нанотрубок в год, а соотношение цена/качество делает экономически целесообразным их массовое внедрение. Успешная эксплуатация Graphetron 1.0 доказала возможность неограниченного

масштабирования технологии синтеза. Компания предлагает свой продукт в качестве нанодобавок в катодный материал литий-ионных батарей, резину для производства шин, композиты для кузовных деталей автомобиля, углепластики для производства спортивного инвентаря и др. Ее бизнес-модель ориентирована на внедрение нанодобавок на уже существующих и отлаженных производствах. При этом в каждом случае должен решаться непростой технологический вопрос – равномерное диспергирование нанодобавки в материале-хозяине [1]. Оценивая коммерческую жизнеспособность отечественного проекта, нельзя не учитывать также и естественное соперничество УНТ с графеном, который обладает рядом преимуществ перед нанотрубками [1, 5]. Согласно некоторым исследованиям композиты с внедрением графена прочнее, жестче и менее подвержены отказу, чем композиты с УНТ [6]. Руководство OCSiAl на момент старта оценивало временное "окно" для реализации коммерческого преимущества своего метода в 5–10 лет, по мнению же председателя правления УК "РОСНАНО" А.Б.Чубайса, проект может стать для России флагманским [4]. Тем не менее на практике расчет на массовое внедрение УНТ сталкивается с трудностями. Например, под их внедрение в производство автомобильных шин (ОАО "Нижекамскшина") и нефтехимическое производство (ОАО "Казаньоргсинтез") в 2015 году было анонсировано строительство завода в Татарстане мощностью до 250 тыс. т нанопродукта в год [7], однако, в 2017 году этот проект уже не упоминался [4]. Симптоматично также, что в 2013 году такая

from the Kutateladze Institute of Thermophysics of the SB RAS. The basis was a plasma chemical reactor developed and patented by him in 2000 in Russia (RU 2157060) and in 2005 in the USA (US 6846467). The method of CNT synthesis was patented in 2012–2013 by MCD Technologies from Luxembourg (RU 2478572, US 8137653 and US 8551413). The technology is implemented in a pilot industrial facility for the synthesis of single-walled CNT Graphetron 1.0, which was launched by OCSiAl in 2013 in the Technopark of Novosibirsk Akademgorodok. The plant produces up to 10 tons of nanotubes per year, and the price/quality ratio

makes their mass introduction economically feasible. Successful operation of Graphetron 1.0 has shown the possibility of unlimited scaling of synthesis technology. The company offers its product as a nano-additive to the cathode material of lithium-ion batteries, rubber for tire production, composites for car body parts, carbon plastics for the manufacture of sporting goods, etc. Its business model is oriented to the introduction of nano-additives on existing and well-functioning plants. At the same time, in each case, a complex technological issue of uniform dispersion of the nano-additive in the host material must be solved [1]. Assessing the

commercial viability of this domestic project, one can not ignore the natural rivalry between CNT and graphene, which has a number of advantages over nanotubes [1, 5]. According to some studies, composites with the introduction of graphene are stronger, more rigid and less susceptible to failure than composites with CNTs [6]. At the time of the start, the OCSiAl management evaluated the temporary "window" for realizing the commercial advantage of its method in 5–10 years, and in the opinion of the chairman of the Management Board of RUSNANO, A. Chubais, project can become a flagship for Russia [4]. Nevertheless, in practice the mass

крупная немецкая компания, как Байер, занимающаяся, в том числе высокотехнологичными полимерными материалами, отказалась от масштабного проекта производства и использования УНТ.

С графеном, обладающим уникальными свойствами (прочностью, гибкостью, высокой электропроводимостью), многие связывали будущее электроники. Однако это будущее может оказаться не столь близким: в десятки лет оценил недавно возможный срок становления графеновой электроники известный российский ученый А.Я.Вуль [8]. В авиастроении возможная "графеновая революция" пока тоже лишь на стадии экспериментов и демонстраций [9].

Таким образом, первоначальный бум, связанный с углеродными наноструктурами, пока не привел к их массовой коммерциализации. 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 [8], на оригинальные способы производства дешевых фуллеренов и УНТ, производство и применение наноалмазов, нанопористого углерода, что фактологически подтверждает проведенный патентный анализ. Безусловно, необходимо стимулировать исследования графена и других 2D-материалов, поскольку именно на этой стадии существует возможность "обогнать, не догоняя".

introduction of CNTs faces difficulties. For example, in 2015, the construction of a plant in Tatarstan with the capacity of up to 250 thousand tons of nanoprodukt per year was announced for their introduction into the production of automobile tires (Nizhnekamskshina) and petrochemical production (Kazanorgsintez) [7], but in 2017 this project was no longer mentioned [4]. It is also symptomatic that in 2013 such a large German company, like Bayer, engaged in high-tech polymer materials, refused the large-scale project for the production and use of CNTs.

Many associated the future of electronics with graphene, which

has unique properties (strength, flexibility, high electrical conductivity). However, this future may not be so close: in tens of years, the well-known Russian scientist A.Vul [8] has estimated the possible time for the establishment of graphene electronics. In aircraft building, a possible "graphene revolution" is also only at the stage of experiments and demonstrations [9].

Thus, the initial boom associated with carbon nanostructures has not yet led to their mass commercialization. Nevertheless, ongoing research is able to suggest ways to overcome existing technological, economic, environmental and other difficulties and

barriers for the wide application of these remarkable nanostructures. Russia can participate in international competition, according to A.Vul [8], focusing on the original ways of producing cheap fullerenes and CNTs, the production and use of nanodiamonds, nanoporous carbon, which factually confirms the conducted patent analysis. Of course, it is necessary to stimulate research on graphene and other 2D materials, since it is at this stage that it is possible to "overtake, not catching up". ■

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 16-06-00009).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-06-00009).

REFERENCES

1. **Noorden R.** Chemistry: the trial of new carbon // Nature. 2011. V. 469 (7328). P. 14-16.
2. **Mochalin V.N., Shenderova O., Ho D., Gogotsi Y.** The properties and applications of nanodiamonds // Nature Nanotechnology. 2012. V. 7. № 1. P. 11-23.
3. **Krestinin A.V.** Problems and prospects of development of the industry of carbon nanotubes in Russia // Nanotechnologies in Russia. 2007. Vol. 2. No. 5-6. P. 18-23.
4. **Fedotova I.** Chubais grows a "new Gazprom". Single-walled // "Expert Online", December 4, 2017. Access mode: <http://expert.ru/2017/03/6/rosnano>.
5. **Cientifica.** Investing in graphene. 2013. Access mode: <http://www.cientifica.com/wp-content/uploads/downloads/2013/07/Investing-in-Graphene.pdf>.
6. **Koratkhar N.A.** Graphene in Composite Materials. USA, Lancaster: DEStech Publications, Inc., 2013. 126 p.
7. **Plant of nanotubes can be built in Tatarstan.** 2015. Access mode: <http://colesa.ru/news/38861>.
8. **Vul A.Ya.** Russia can still become a leader in carbon nanotechnology. 2017. Access mode: <https://ria.ru/science/20170204/1487065126.html>.
9. **Arsenin A.** Battle for Graphene-3: does Russia have a chance for leadership? Access mode: <http://www.forbes.ru/tehnologii/350351-bitva-za-grafen-3-est-li-rossii-shans-na-liderstvo?OlC77004ce8f33614114d3633ec694ef6e4=001df4d516a8d1d23df492323c981d4f>.