

# НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

## Серия 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 9

Москва 2014

## ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 001.894.2

В.Г. Зинов, Н.Г. Куракова, Л.А. Цветкова

### Прорывное научное направление: формализация понятия и критерии подтверждения статуса

*Предложена формализация понятия «прорывное направление исследований». На основе анализа научно-технической информации сформирована система количественных критериев и показателей, позволяющих объективизировать процесс присвоения статуса прорывного тому или иному направлению исследований. Показана необоснованность признания прорывными целого ряда новых направлений, запаздывание развития которых создает риски потери технологического лидерства Российской Федерации.*

**Ключевые слова:** прорывные направления исследования, статус, формализация, критерии, хронология развития, долгосрочное прогнозирование, глобальная научно-технологическая сфера, Россия

#### ВВЕДЕНИЕ

Попытки США и стран Европейского Союза ввести экономические санкции против Российской Федерации в начале 2014 г., по существу, стали модельной ситуацией, которая обострила и с новой силой продемонстрировала, какую угрозу для национальной безопасности представляет отсутствие в России стратегически важных технологий и производств. Так, по данным Foreign Policy, уже в марте 2014 г. Министерство торговли США перестало выдавать американским фирмам лицензии на продажу России

«потенциально опасных товаров» и приостановило целую серию сделок с Россией по поставкам наукоемкой продукции [1].

Вместе с тем в условиях ограниченных финансовых ресурсов, выделяемых бюджетами всех уровней на развитие научно-технологической сферы в Российской Федерации, все большую актуальность приобретает выбор тех исследовательских направлений, на базе которых может быть достигнут технологический прорыв, позволяющий России занять достойное место на новых промышленных рынках, формирующихся на наших глазах.

В связи с этим обращает на себя внимание тот факт, что, несмотря на широкое распространение термина «прорывные технологии» в экономико-политическом лексиконе современной России, нам не удалось обнаружить ни одной попытки его формализации. Так, ни одна из 34 технологических платформ, созданных в России, в программах своего стратегического развития не изложила принципов приоритизации и системы научно-технологической экспертизы, сфокусированной на отборе *прорывных* научно-технологических проектов, равно как и не предложила собственных прогнозов развития отдельных рыночных ниш или новых рынков на основе прорывных технологий.

В отсутствие четких показателей и критериев «прорывности» резко увеличиваются риски неэффективного использования инвестируемых средств бюджетов всех уровней в проекты, использующие всего лишь конъюнктурный набор ничем не подтвержденных статусов отечественных научных заделов.

Представляется, что в системе обоснования научно-технологической политики Российской Федерации должно быть уделено первостепенное внимание формализации ее ключевых понятий, тем более что основные финансовые инструменты реализации приоритетов этой политики (Федеральные целевые программы, Российский научный фонд) декларируют свою акцентированность на поддержке «прорывных», «мирового уровня», «конкурентоспособных», «перспективных» отечественных разработок и проектов.

Целью настоящего исследования было дать формализованное определение понятия «прорывной» применительно к результату, научному направлению или технологии и предложить перечень критериев, позволяющих объективизировать процесс присвоения этого статуса.

## ПРИМЕРЫ ПРОРЫВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мы предлагаем называть «*прорывными*» результаты отдельных направлений исследования, имеющие потенциал формирования глобальных рынков продуктов или услуг нового технического уровня. Для таких исследований характерны следующие признаки: они являются абсолютно новыми, как правило, не предсказанными футурологами, направлениями, инициированными в одном, максимум двух, научных центрах мира, и характеризуются экспоненциальным ростом публикационной и патентной активности.

В статусе «прорывных» такие направления исследований удерживаются не более 4-5 лет, в течение которых страны-лидеры уходят в критически важный технологический отрыв, первыми создают новые индустрии и занимают лидирующие позиции на новых глобальных рынках. Воспроизведенные и развиваемые все большим количеством исследовательских коллективов по всему миру, эти направления утрачивают статус «прорывных».

Рассмотрим три примера направлений исследований, которые возникли в последнее десятилетие, и которым, с нашей точки зрения, на определенный период времени мог быть присвоен статус «прорывных».

**Перепрограммирование «взрослых» стволовых клеток в плюрипотентные.** Временем возникнове-

ния этого прорывного направления следует считать 2006 г., когда в журнале «Cell» (США) [2] была опубликована статья Синья Яманака (Shinya Yamanaka) и Казутоши Такахаши (Kazutoshi Takahashi) о возможности перепрограммирования взрослых клеток мыши в стволовые клетки.

Статья сразу же попала в списки «горячего цитирования», т.е. в категорию статей, набравших аномально большое количество ссылок в течение двух лет после публикации. С этого момента начинается бурный рост исследовательской активности в этом направлении во всех странах развитой науки, что отражено в экспоненциальном росте публикационной активности. В 2012 г. за «Открытие перепрограммирования “взрослых” стволовых клеток в плюрипотентные» Синья Яманака получил Нобелевскую премию по медицине.

На период с 2008 по 2010 гг. приходится и экспоненциальный рост патентной активности, что свидетельствует о принципиальной технологизируемости предлагаемых Яманаки прорывных подходов. С 2012 г. Япония становится лидером по количеству полученных патентов в области индукции плюрипотентности стволовых клеток и, судя по всему, вплотную подходит к решению задачи создания производственных технологий.

Подтверждением данного предположения является тот факт, что уже в 2013 г. в Японии стартовал проект по созданию общенационального банка универсальных стволовых клеток неэмбрионального происхождения (iPS-клеток) [3]. Дорожная карта проекта предполагает накопление к 2015 г. биоматериалов для создания искусственных органов, не вызывающих отторжение у 20% населения Японии. В результате реализации национального проекта в 2023 г., как ожидается, примерно 80%-90% населения Японии смогут рассчитывать на пересадку органов, выращенных из стволовых клеток созданного банка iPS-клеток.

Таким образом, с момента получения прорывного фундаментального результата до начала масштабного проекта по его индустриализации пошло всего семь лет (2006-2013 гг.).

А теперь воспроизведем хронологию развития этого направления в России. В конце 2008 г. в Правительство РФ был представлен Долгосрочный прогноз научно-технологического развития Российской Федерации (до 2025 г.) [4] (далее Прогноз-2025), в котором нет упоминания о таком перспективном направлении, как перепрограммирование клеток. И только в Прогнозе научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 г., утвержденном Правительством 20 января 2014 г. [5] (далее Прогноз-2030) появляется направление «Исследование механизма и факторов перепрограммирования клеток». Таким образом, авторы Прогноза-2030 зафиксировали это направление в качестве «долгосрочного приоритета технологического развития РФ до 2030 г.» почти через два года после присуждения его автору Нобелевской премии! По существу это означает синхронизацию по времени начала развития индустрии в стране-лидере (Японии) с началом стадии исследований в России (рис. 1).

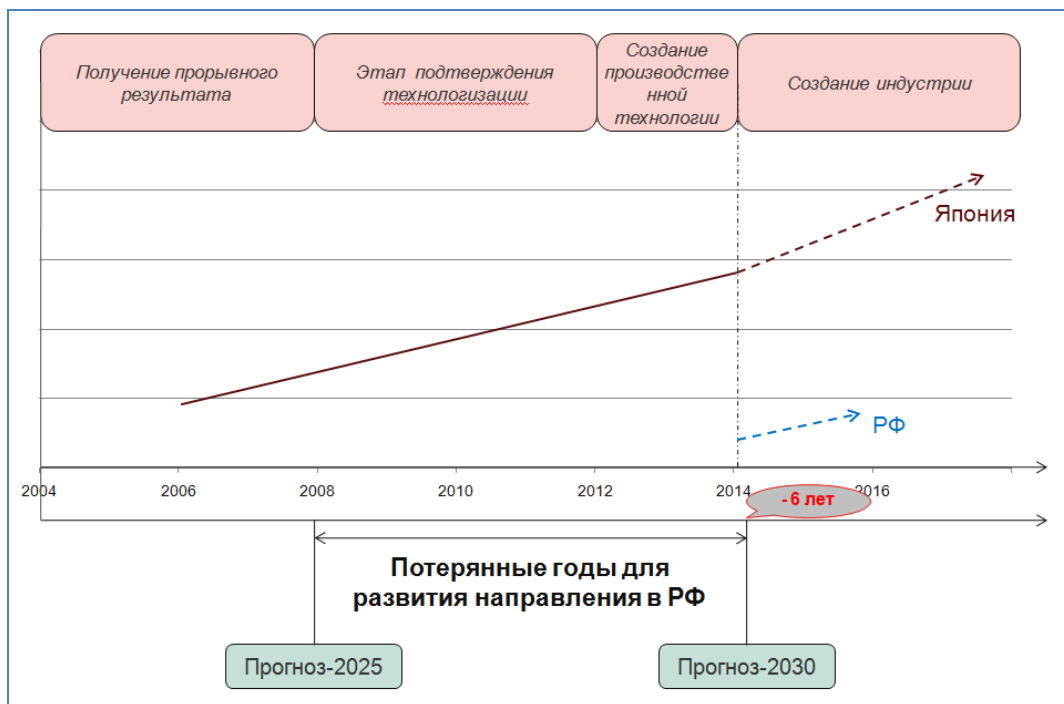


Рис. 1. Хронология развития прорывного направления «перепрограммирование стволовых клеток в плюрипотентные» в России и в мире

Есть все основания предполагать, что в 2014 г. и в Российский научный фонд (далее – РФ), и на конкурсы, объявленные федеральными целевыми программами, будут поданы заявки на развитие такого «прорывного» направления, как перепрограммирование стволовых клеток. Как нам представляется, присвоение статуса «прорывной» отечественным научным делам, полученным с опозданием в 6-7 лет по сравнению с лидерами, является необоснованным. Методологически более корректно называть их «догоняющими», поскольку указанный период времени является критическим для обеспечения технологического лидерства.

**Теоретическое предсказание и создание мемристоров.** В качестве второго примера «прорывного» направления исследований рассмотрим историю предсказания, создания мемристоров и возникновения на их основе индустрии мемристорных микросхем и когнитивных компьютеров (рис. 2).

В 2006 г. Стэн Вильямс (Stan Williams), научный сотрудник компании Hewlett Packard, получил мемристор, теоретическое предсказание появления которого было сделано в статье инженера-электрика Леона Чуа (Leon Chua) «Мемристор – недостающий элемент схемы» [6]. В 2008 г. Hewlett Packard начала разработку технологии производства мемристоров, в результате чего были созданы принципиально новые системы, которые стали четвертым базовым элементом электронных схем.

Уже в 2012 г., т.е. через 6 лет с момента получения прорывного фундаментального результата, Hewlett Packard объявляет о создании технологии для производства мемристоров. Компанией обнародован план коммерциализации разработки, предусматривающий выпуск новых устройств записи в память компьютера, с 2014 г. [7].

В том же 2012 г. это направление трансформируется в технологию двойного применения. Так, в рамках программы Агентства передовых оборонных исследовательских проектов Министерства обороны США (Defense Advanced Research Projects Agency — DARPA) «Системы нейроморфной адаптивной пластической масштабируемой электроники» (SyNAPSE), исследовательские лаборатории начали революционные разработки, которые, как ожидается, откроют новую эру когнитивных компьютеров. В программе участвуют IBM, Hewlett Packard и HRL Labs при сотрудничестве с Бостонским, Колумбийским, Корнельским и Стэнфордским университетами.

История развития этого направления в России вновь демонстрирует критическое по времени отставание. В изданном в 2008 г. Прогнозе-2025 направления «создание мемристорных микросхем», «когнитивные компьютеры» отсутствуют. И только в конце 2013 г., т.е. с опозданием на 5 лет от научно-технологического лидера и через год после пресерелизов о начале производства в США, это технологическое направление появляется в Прогнозе-2030 в качестве радикального продукта «элементы электроники на базе мемристоров».

На фоне стремительного развития технологий хранения информации на основе мемристоров и начавшейся гонки за лидерство, в которую вступили крупнейшие зарубежные компании, в России только появляются первые сообщения о создании научных заделов. Так, мемристор на основе диоксида титана получен в 2012 г. в рамках проекта по моделированию нейронных сетей мозга, осуществляемого Тюменским государственным университетом и ООО «ТАСО». Любопытно, что в том же 2012 г. DARPA объявляет об отказе от использования мемристоров на основе диоксида титана и переходе производства резисторов с памятью на базе других соединений.

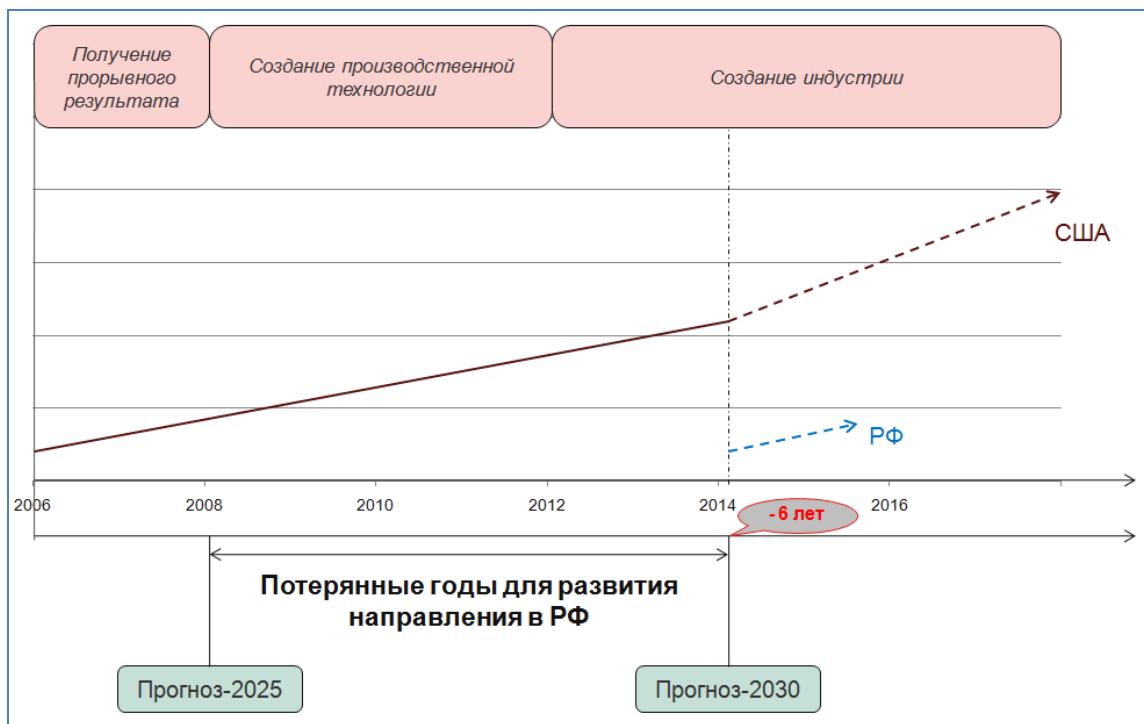


Рис. 2. Хронология появления технологии производства мемристоров в России и в мире

На конец 2013 г. в патентной базе Orbit обнаружено всего 3 патента РФ по разработке технологий использования мемристивной памяти, в то время как в США – 144, Корейской Республике – 99, в Китае – 91, Японии – 64. Столь критическая разница в количестве патентов РФ и других стран не помешала появлению сообщений о том, что «ТюмГУ станет мировым центром прорывных исследований в области IT» [9]. Вуз стал победителем конкурса, проводимого Минобрнауки России и Минкомсвязи России, на создание центров прорывных исследований мирового уровня в области информационных технологий.

Как и в случае с открытием возможности перепрограммирования клеток и созданием индустрии искусственных органов, между появлением нового прорывного результата в виде мемристоров и индустрией новых устройств для скоростной записи больших объемов информации, т.е. нового поколения компьютеров, прошло всего 8 лет. И вновь старт развития этого направления в России совпадает по времени с запуском производств в странах-технологических лидерах, а средства государственного бюджета расходуются «на создание центров прорывных исследований мирового уровня» по направлениям с критическим уровнем технологического отставания.

**Открытие и развитие технологий оптогенетики.** Еще одним примером «прорывного» исследовательского направления, с нашей точки зрения, является оптогенетика. Первые публикации о возможности использования светочувствительных белков для контроля активности отдельных нейронов и отдельных групп нейронов появляются в 2006-2008 гг., и сразу же попадают в категорию высокого цитирования. Признавая потенциал нового направления, журнал «Science» [10] уже в 2010 г. объявляет

оптогенетику «прорывом десятилетия», а журнал «Nature Methods» [11] признает оптогенетику «научным методом года во всех областях науки и техники». В 2013 г. основоположники данной методики Эд Бойден (Ed Boyden), Карл Дайссерот (Karl Deisseroth), Питер Хегеманн (Peter Hegemann), Геро Майсенбок (Gero Miesenböck) и Герг Нагел (Georg Nagel) были награждены премией The Brain за «свое изобретение и совершенствование метода оптогенетики» [12], а годом раньше Геро Майсенбок, был награжден Международной премией в области здравоохранения (InBev-Baillet Latour International Health Prize) за «пионерные подходы оптогенетики для управления активностью нейронов и осуществления контроля поведения животных» [13].

Экспоненциальный рост публикационной и ссылочной активности по этому направлению исследований, начиная с 2010 г., отражен на рис. 3.

На начало 2014 г. по этому направлению опубликовано 28 высокоцитируемых статей, которые за последние 4 года (2010 – 2013 гг.) сформировали 5 фронтов исследований.

С 2010 г. экспоненциально растет и патентная активность, что подтверждает высокий потенциал технологизируемости направления (рис. 4).

О том, что это направление является прорывным и сохраняет высокий потенциал развития свидетельствует и преобладание числа заявок на патенты (pending) по сравнению с числом уже выданных патентов (granted) (рис.5).

Еще одним признаком «прорывности» направления «оптогенетика» является, с нашей точки зрения, и тот факт, что пока среди топ-20 патентообладателей преобладают университеты (рис.6). Это свидетельствует о том, что направление не было иници-

ровано заказным корпоративным проектом и является не технологическим усовершенствованием, а неожиданным порождением сектора генерации фундаментального знания.

Сегодня есть все основания полагать, что в самое ближайшее время оптогенетика может стать техно-

логической основой для производства медицинского диагностического оборудования нового поколения, а также для целого ряда лечебно-диагностических услуг, прежде всего, для больных шизофренией и болезнью Паркинсона, т.е. сформировать новые глобальные рынки.

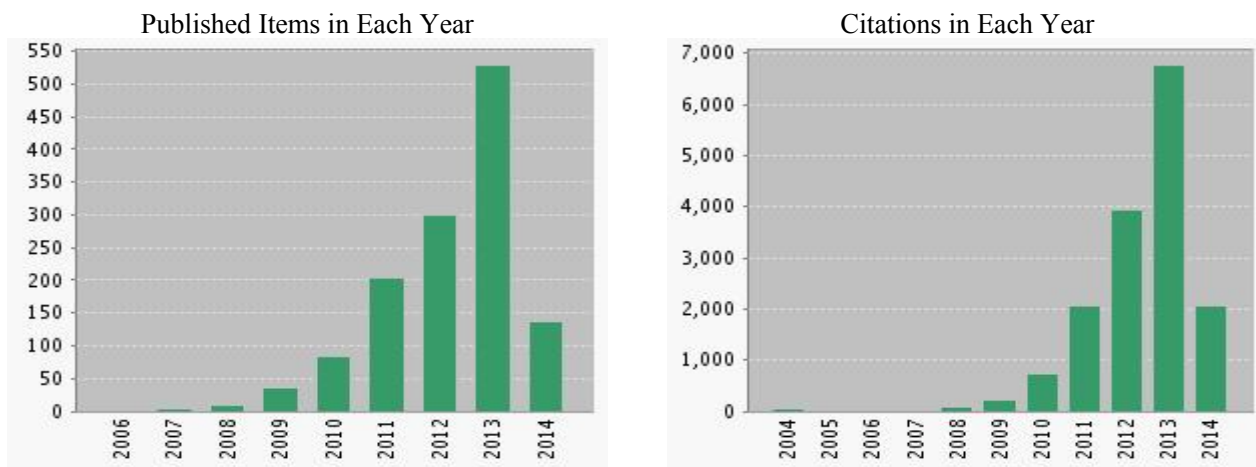


Рис. 3. Динамика публикационной активности по оптогенетике (Источник: WoS, данные на 15.01.2014 г.)

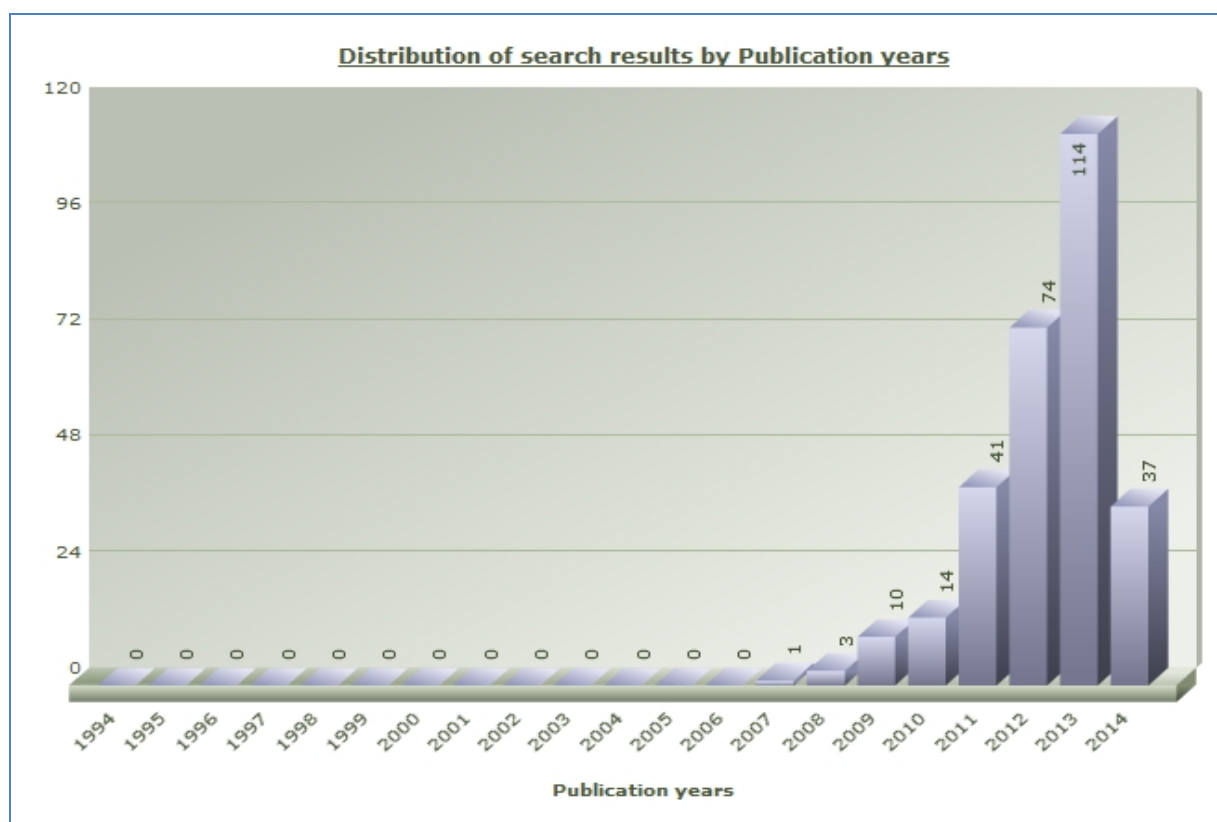


Рис. 4. Динамика патентования по оптогенетике (Источник: ORBIT, данные на 23.04.14)

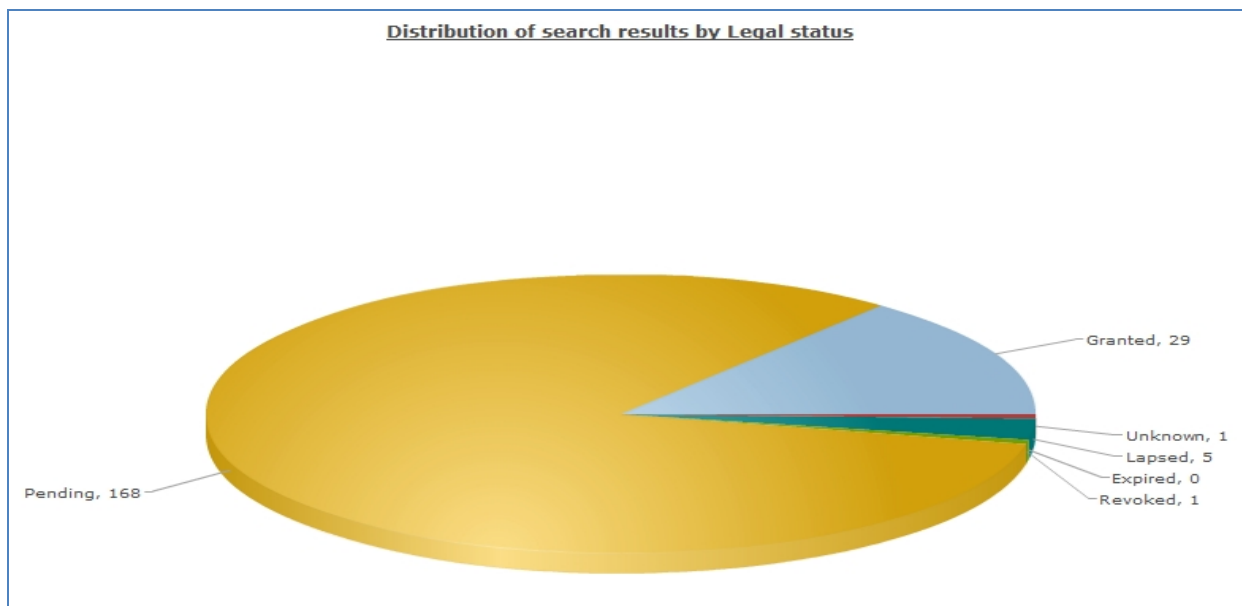


Рис. 5. Правовой статус патентных документов по оптогенетике  
(Источник: ORBIT, данные на 23.04.14)



Рис. 6. Рейтинг топ 20 патентообладателей в области оптогенетики  
(Источник: ORBIT, данные на 23.04.14)



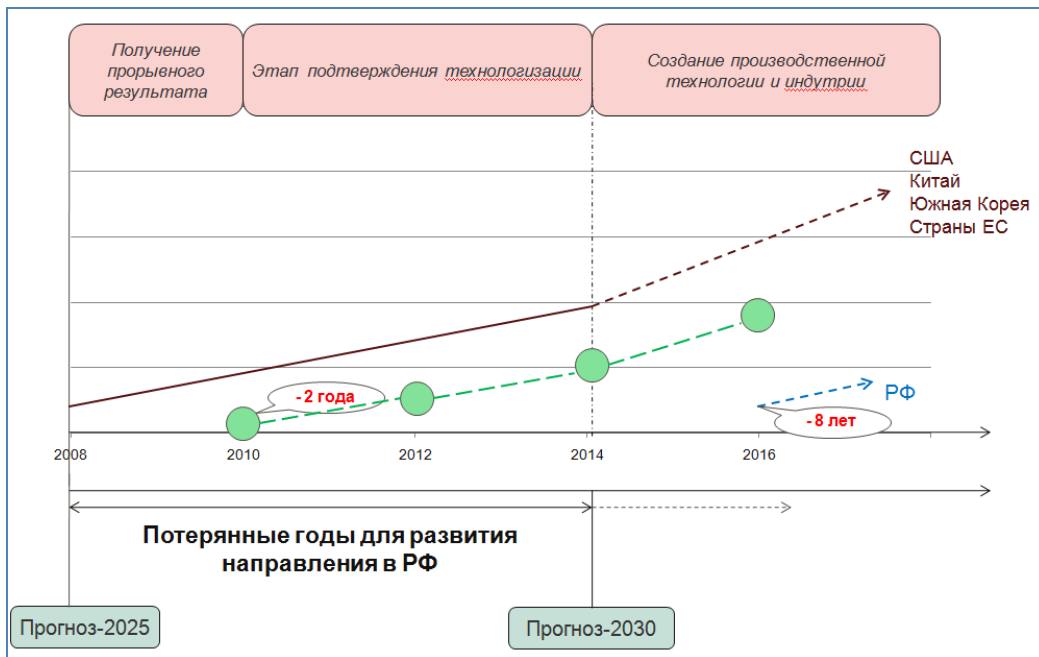


Рис. 7. Хронология развития технологий оптогенетики в России и в мире

Уже в 2010 г. Дайссерот и его коллеги учредили в Кремниевой долине (США) компанию Circuit Therapeutics. На первом этапе коллектив из 47 сотрудников решил отказаться от сложных экспериментов с мозгом и сосредоточился на более доступных подкожных рецепторах. Результаты их первого исследования были недавно опубликованы в издании «Nature Biotechnology» [14]. Новый вектор развития оптогенетики открывает захватывающую перспективу: появилась возможность «включать и выключать» нервы, ответственные за боль, а это – огромные рынки обезболивающих средств для испытывающих хронические боли вследствие болезней и травм. Очевидно, что технология оптогенетики может стать хорошей альтернативой обезболивающим препаратам. Учёные имеют серьёзную поддержку в виде инвестиций от Стэнфордского университета и бывших руководителей Google Дэвида Джески (David Jeske) и Скотта Хэссэна (Scott Hassan).

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что уже на такой ранней стадии коммерциализации результатов исследований по оптогенетике начинается острая конкуренция за лидерство в развитии направления. Бывший сотрудник лаборатории Дайссерота Эд Бойден (Ed Boyden) из Массачусетского технологического института основал компанию Eos Neuroscience, которая также использует оптогенетику для подавления боли [14].

Что касается хронологии развития этого направления в Российской Федерации (рис.7), то в Прогнозе-2030, представленном в Правительство в 2014 г., оптогенетика в качестве приоритетного направления не упомянута. Поэтому существуют риски, что также, как и в случае первыми двумя технологиями, статус прорывного в России это направление обретет лишь после присуждения его основоположникам Нобелевской премии и запуска производства рыночных

продуктов нового технологического уровня в индустриально развитых странах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ трех представленных примеров возникновения и технологического развития прорывных направлений исследований позволяет выделить несколько принципиально важных для научно-технологической политики РФ моментов.

Во-первых, продолжительность периода между появлением нового прорывного результата и началом нового индустриального производства имеет тенденцию к сокращению и составляет сегодня 6-8 лет.

Во-вторых, система и методология долгосрочного научно-технологического прогнозирования, используемая в РФ для определения приоритетов, демонстрирует свою неспособность своевременно фиксировать появление прорывных результатов, эволюционирующих в технологии прорыва в индустриально развитых странах.

В третьих, статус «прорывного» в РФ, зачастую присваивается направлениям, начало развития которых запаздывает на критические 5-7 лет по сравнению с технологическими лидерами и по которым у научных коллективов РФ нет убедительного превосходства ни по количеству патентов, ни по количеству публикаций.

Для объективизации присвоения статуса прорывного тому или иному направлению исследований нами предлагается следующий набор критериев: 1) абсолютно новое направление, возраст публикаций по которому не превышает 3 лет; 2) публикации, часто не успевающие сформировать фронты исследования, но попадающие в раздел «горячего» или «высокого цитирования»; 3) экспоненциальный рост числа публикаций и патентов по данному направлению в течение первых трех лет; 4) доля выданных патентов меньше доли поданных

заявок; 5) преобладание в топ-20 патентообладателей доли университетов, а не компаний.

Только использование совокупности количественных или однозначно трактуемых показателей, характеризующих динамику развития того иного исследовательского направления, потенциал его технологизируемости, перспективы формирования новых промышленных рынков дают, с нашей точки зрения, основание присваивать статус прорывного отечественному научно-технологическому заделу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. США негласно ввели новые санкции против России (U.S. quietly imposes new Russia sanctions)/ Джамилы Триндл (Jamila Trindle). - URL: <http://www.inosmi.ru/world/20140327/219013560.html>
2. Takahashi Kazutoshi, Yamanaka Shinya. Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors // CELL. – Vol. 126, Issue 4. – P. 663-676
3. Интернет-сайт ИТАР-ТАСС. Токио, 6 декабря. / Корр. ИТАР-ТАСС Василий Головнин / В Японии начал работу первый в мире банк стволовых клеток. – URL: <http://itar-tass.com/nauka/814785>
4. Долгосрочный прогноз научно-технологического развития Российской Федерации (до 2025 года). – Федеральный портал protown.ru – URL: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf>
5. Минобрнауки России. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 года – URL: [government.ru/news/9800](http://government.ru/news/9800)
6. Chua L.O. Memristor – missing circuit element // IEEE Transactions on circuit theory. – 1971. – Vol. CT18, Issue 5. – P. 507.
7. Интернет-портал «Компьютерра». Мемристор: «недостающий элемент». О. Нечай. – «Компьютерра» – URL: <http://www.computerra.ru/vision/591537/>
8. DARPA SyNAPSE (Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics). Program Artificial brains – URL: <http://www.artificialbrains.com/>
9. Интернет-портал «Новости УрФО». ТюмГУ будет создан мировой центр прорывных исследований в области IT. – URL: <http://www.naurfo.ru/>
10. News Staff. Stepping away from the trees for a look at the forest. Introduction // Science. – 2010. – Vol. 330, Issue 6011. – P. 1612–1613.
11. Method of the Year 2010. Nature Methods **8** (1): 1. 2010. URL: <http://www.nature.com/nmeth/journal/v8/n1/full/nmeth.f.321.html>
12. The InBev-Baillet Latour Fund. – URL: <http://www.inbevbaillatour.com/index.cfm?ee=3%7C336>
13. The Brain Prize Winners 2013. – URL: [http://www.thebrainprize.org/flx/prize\\_winners/prize\\_winners\\_2013/](http://www.thebrainprize.org/flx/prize_winners/prize_winners_2013/)
14. Учёные научились контролировать боль с помощью света. Иван Загорский./ Вести.Наука@Vesti\_Nauka. – URL: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1297419&cid=2161>

*Материал поступил в редакцию 25.04.14.*

## Сведения об авторах

**ЗИНОВ Владимир Глебович** – доктор экономических наук, зам. директора Центра научно-технологической экспертизы Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Москва  
e-mail: [zinov@anx.ru](mailto:zinov@anx.ru)

**КУРАКОВА Наталия Глебовна** – доктор биологических наук, директор Центра научно-технологической экспертизы Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Москва, Россия,  
e-mail: [idmz@mednet.ru](mailto:idmz@mednet.ru)

**ЦВЕТКОВА Лилия Анатольевна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Центра научно-технологической экспертизы Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, старший научный сотрудник Отделения научно-технологического прогнозирования в области биомедицины ФГБУЦНИИОИЗ Министерства здравоохранения РФ, Москва  
e-mail: [idmz@mednet.ru](mailto:idmz@mednet.ru)