

БУДУЩЕЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЛЬФИ*

А.В. Соколов

Форсайт-исследование тенденций научно-технологического развития (научно-технологический блок комплексного проекта по разработке долгосрочного прогноза научно-технологического развития страны на период до 2025 года) было посвящено экспертной оценке позиций России в глобальном научно-технологическом пространстве и определению тех направлений, поддержка которых позволит повысить конкурентоспособность российской экономики и решать актуальные задачи социального развития.

Важным результатом проекта стало также создание коммуникационных площадок для представителей органов государственного управления, государственных корпораций, частного бизнеса, научных организаций.

* Статья подготовлена по материалам исследований Государственного университета – Высшей школы экономики (ГУ–ВШЭ) в рамках проекта «Долгосрочный прогноз научно-технологического развития РФ до 2025 года», выполненного по заказу Минобрнауки России и Роснауки.

Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года, ориентированная на реструктуризацию отечественной экономики, ускорение ее перевода на инновационный путь и на повышение конкурентоспособности российских производителей, предполагает значительное увеличение вклада науки и технологий в социально-экономическое развитие. Новые вызовы, связанные с усиливающейся ролью инноваций и технологических изменений в мировом социально-экономическом развитии, ставят перед страной ряд стратегических задач:

- модернизация традиционных секторов экономики, в том числе за счет развертывания глобально ориентированных специализированных производств;
- развитие высокотехнологичных производств и расширение стратегических позиций России на мировых рынках наукоемкой продукции;
- обеспечение технологического лидерства страны по ряду важнейших направлений.

Постановка целей подобного масштаба требует выработки комплексных долгосрочных стратегий, что ставит на повестку дня определение перспективных для России областей развития и практического применения достижений науки и технологий на долгосрочную перспективу, обеспечивающих использование конкурентных преимуществ отечественных производителей и решение наиболее острых социальных проблем.

Ресурсы, выделяемые на научные исследования, даже в самых богатых странах не беспредельны и не могут в полной мере охватывать все направления науки и технологий, поэтому определение перспективных направлений исследований и выработка мер, направленных на их поддержку, становятся одним из важнейших инструментов научной политики [National Academy of Sciences, 2005; NISTEP, 2005a]. С учетом резкого усиления ресурсных ограничений в связи с глобальным экономическим кризисом наличие четких научно-технологических ориентиров на средне- и долгосрочную перспективу приобретает особенное значение для стран, претендующих на вхождение в число глобальных лидеров, в том числе и для России.

Выбор национальных приоритетов в сфере науки и технологий в России имеет свои традиции. С середины 1990-х ведется подготовка на регулярной основе перечней приоритетных направлений развития науки, технологий и техники и критических технологий Российской Федерации. В этих условиях еще более актуальными становятся исследования, формирующие долгосрочное видение тенденций научно-технологического развития и обеспечивающие систематизацию представлений об областях науки, обладающих наибольшим потенциалом для технологической модернизации экономики России.

Задачи исследования

Основной целью научно-технологического Форсайта является определение магистральных направлений развития российской науки с учетом глобальных тенденций и национальных социально-экономических целей. При этом решалось несколько ключевых задач:

- разработать новые подходы к определению областей науки и инноваций, требующих первоочередной поддержки со стороны государства;
- расширить представление о вероятных тенденциях будущего развития, вызовах и возможностях их разрешения;
- сфокусировать национальную инновационную систему на решении важнейших проблем, стоящих перед обществом и экономикой. Оценить сильные и слабые стороны российской науки в сравнении с мировыми лидерами, ее потенциал как один из важнейших факторов социально-экономического развития;
- способствовать формированию эффективных взаимосвязей между наукой, образованием, бизнесом и сферой государственного управления;
- привлечь новых игроков в процесс обсуждения проблем стратегического развития страны и выработки государственной политики в сфере науки и инноваций;
- повысить эффективность научно-технической и инновационной политики за счет более полного информирования лиц, принимающих решения, о долгосрочных перспективах развития науки.

Методология исследования

Опыт реализации масштабных Форсайт-проектов свидетельствует о том, что необходимым условием их успеха является не только удачный выбор методов, но и продуманная последовательность их применения и организация выполнения работ (подробнее см. [Porper, 2008, p. 71]). Используемые методы должны ориентироваться на интеграцию экспертных знаний лучших специалистов, обеспечение активного, творческого участия и взаимодействия экспертов, подготовку объективной информационно-аналитической основы, позволяющей сопоставить их мнения с доказательной базой кодифицированных знаний¹.

В качестве базового метода при разработке прогноза научно-технологического развития использовался метод Дельфи (экспертный опрос, проводимый в два этапа), который получил широкое распространение в странах с крупным научно-техническим потенциалом. Его первые применения относятся к 1950-м гг., когда корпорация RAND начала экспертные исследования по оценке перспектив отдельных областей науки и технологий [Gordon, Helmer, 1964]. В дальнейшем метод Дельфи применялся в Японии [Денисов, 2007; NISTEP, 2005a, 2005b], Германии [BMBF, 1998],

¹ В качестве рамочной структуры для выбора методов Форсайта может использоваться так называемый Форсайт-ромб (см. [Соколов, 2007, № 1, с. 13]).

Великобритании [Loveridge, Georghiou, Nedeva, 1995], Китае [Tsujiro, Yokoo, 2006], Корее [Park, Seok-ho, 2006] и многих других странах.

По замечанию ряда исследователей [Lempert, Popper, Bankers, 2003, p. 17], выступая в качестве одного из ключевых методов долгосрочного анализа политики, Дельфи не претендует на угадывание будущего — его целью является формирование информированного консенсуса о вероятных направлениях развития науки и технологий.

Опросы Дельфи, осуществляемые в разных странах, имеют много общих черт: как правило, они носят масштабный характер, осуществляются в комбинации с другими экспертными методами, охватывают широкий спектр научно-технологических направлений². К участию в опросах привлекаются тысячи квалифицированных экспертов, а временной горизонт составляет от 20 до 30 лет. В то же время такие работы имеют ярко выраженную национальную специфику: даже в реализованном в Германии проекте, реплицирующем японский прогноз [Cuhls, Kuwahara, 1994], эти особенности носили очевидный характер.

Отечественная специфика, отраженная в методологии прогноза, проявилась в составе рассматриваемых областей и их иерархической структуре (направления — области — темы), ориентации на цели социально-экономического и научно-технологического развития страны, процедурах идентификации прогнозных тем, организации опроса экспертов и др.

Российский Дельфи охватывал все важнейшие направления развития науки и технологий, которые включали более 60 тематических областей и свыше 900 тем прогноза — научных достижений, прорывных технологий, перспективных инновационных продуктов. В опросе участвовали более 2 тыс. экспертов из ведущих научных организаций, вузов и инновационных компаний, представлявших более 40 регионов России. Привлечение столь значительного числа экспертов было связано с необходимостью получения репрезентативных результатов для всех ключевых направлений развития науки, технологий и техники.

Первый уровень составили девять приоритетных направлений:

- информационно-телекоммуникационные системы;
- индустрия наносистем и материалов,
- живые системы;
- медицина и здравоохранение;
- рациональное природопользование;
- энергетика и энергосбережение;
- производственные системы и промышленная инфраструктура;
- авиационно-космические и транспортные системы;
- безопасность на производстве, транспорте и в повседневной жизни.

Каждое из них было разбито на 5–7 тематических областей, образующих второй уровень классификации. В свою очередь, каждая область включала конкретные разработки и технологии — темы прогноза (общим числом более 800), составившие нижний, третий уровень. Именно они легли в основу Дельфи-опроса.

В структуре прогноза на верхнем уровне иерархии был выделен ряд приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, а на втором уровне — критические технологии Российской Федерации из действовавшего на момент проведения исследования перечня, утвержденного Президентом России в 2006 г.³ (рис. 1).

Перечень приоритетных направлений был несколько расширен. Наряду с традиционными для научных прогнозов «Живыми системами», охватившими теоретические аспекты изучения наук о живом и биотехнологии, в исследование был включен раздел «Медицина и здравоохранение», в котором основное внимание было уделено применению научно-технических достижений в области практической медицины (диагностики, профилактики и лечения наиболее опасных заболеваний). Был также добавлен раздел «Производственные системы и промышленная инфраструктура», в котором представлены технологии, способные изменить облик промышленности.

Методология исследования опиралась на комплекс экспертных методов и предусматривала несколько этапов (рис. 2).

На подготовительном этапе был организован пул экспертов, проведены статистические, библиометрические и патентные исследования (в том числе выявление «фронтов» науки и технологий на базе анализа наиболее цитируемых публикаций за последние два года), обобщены итоги зарубежных научно-технологических прогнозов. На этой основе были подготовлены предварительные перечни тем для включения в опрос Дельфи.

Эксперты отбирались из числа ведущих специалистов реального сектора экономики, ученых (с учетом индексов цитирования в научных журналах, реферируемых в Web of Science) и представителей органов государственного управления. Для расширения пула экспертов использовался также метод кономинации (снежного кома). Всего было отобрано несколько тысяч экспертов, из числа которых были образованы экспертные панели в составе около 300 ведущих ученых и специалистов-практиков.

Темы прогноза представляли собой формулировки (длиной до 30 слов) инновационных продуктов, технологий (прорывных либо задающих скорость развития узкой технологической области) и тех фундаментальных научных результатов, на базе которых могут быть получены радикальные инновации. На предварительном этапе было предложено свыше 5 тыс. подобных тем, исходя из которых экспертные

² Подробнее о методе Дельфи см. [Кукушкина, 2007; UNIDO, 2005].

³ См. <http://mon.gov.ru/dok/ukaz/nti/>

Рис. 1. Структура тематических областей исследования Дельфи

Живые системы

1. Клеточные технологии
2. Геномные и постгеномные технологии создания лекарственных средств
3. Биокаталические и биосинтетические технологии, метаболическая инженерия
4. Биосенсорные технологии, биоаналитические устройства
5. Биомедицинские и ветеринарные технологии жизнеобеспечения и защиты человека и животных
6. Технологии биоинженерии
7. Биоинформационные технологии

Рациональное природопользование

1. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы
2. Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы
3. Технологии снижения риска и уменьшения последствий негативных природных и техногенных процессов и катастроф
4. Технологии предотвращения и снижения загрязнения окружающей среды, переработки и утилизации техногенных образований и отходов
5. Технологии экологически безопасной разработки месторождений и добычи природных ресурсов

Энергетика и энергосбережение

1. Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом
2. Технологии водородной энергетики
3. Производство энергии с использованием органического топлива
4. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии
5. Технологии новых и возобновляемых источников энергии

Информационно-телекоммуникационные системы

1. Технологии передачи, обработки и защиты информации
2. Технологии распределенных вычислений и систем
3. Технологии производства программного обеспечения
4. Технологии создания электронной компонентной базы
5. Технологии создания интеллектуальных систем управления и навигации
6. Биоинформационные технологии
7. Другие технологии

Производственные системы и промышленная инфраструктура

1. Новые материалы для промышленного производства
2. Высокоточные, энерго- и ресурсосберегающие способы формообразования
3. Высокоэффективные методы соединения материалов
4. Способы обработки материалов высококонцентрированными потоками энергии
5. Новые информационные средства диагностики материалов
6. Создание мехатронных устройств и машин для производственных технологий

Безопасность на производстве, транспорте и в повседневной жизни

1. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций, обеспечение защиты населения и биосферы, в том числе от угрозы террористических проявлений
2. Обеспечение безопасности функционирования объектов, в том числе опасных, и инфраструктуры
3. Обеспечение пожарной безопасности
4. Обеспечение безопасности на транспорте (автомобильном, воздушном и водном) и в общественных местах
5. Обеспечение защиты информации

Индустрия наносистем и материалов

1. Нанотехнологии и наноматериалы
2. Технологии создания и обработки полимеров и кристаллических материалов
3. Нано- и микросистемная техника
4. Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов
5. Технологии создания мембран и каталитических систем
6. Технологии создания биосовместимых материалов

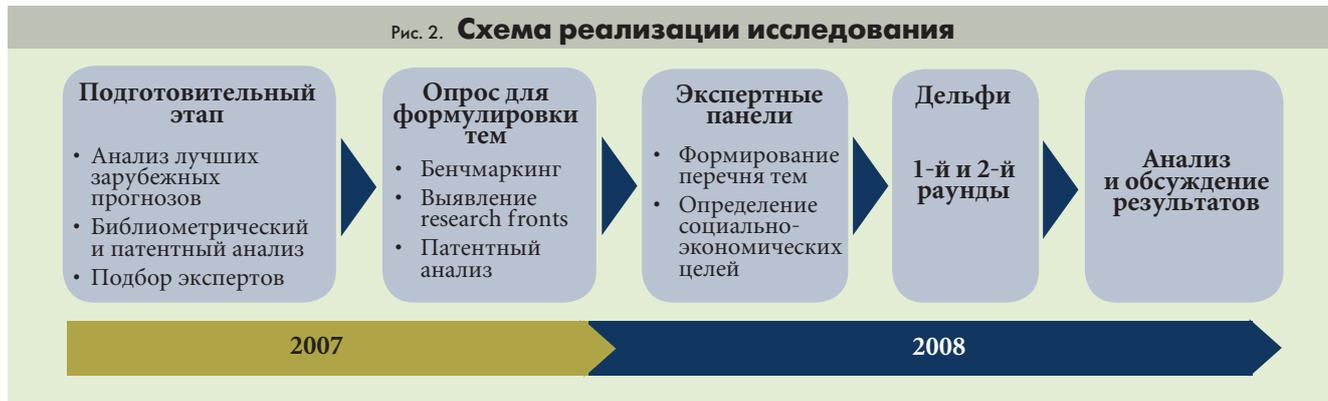
Медицина и здравоохранение

1. Диагностика заболеваний
2. Лечение заболеваний
3. Совершенствование инвазивных способов лечения заболеваний
4. Психическое здоровье
5. Профилактика заболеваний
6. Инновационные технологии общего назначения
7. Оптимизация медицинского обслуживания

Авиационно-космические и транспортные системы

1. Двигатели и энергетические установки
2. Авиационные и космические летательные аппараты
3. Функциональные системы и комплексы
4. Материалы, технологии их создания и обработки
5. Перспективные методы и средства для создания и обеспечения функционирования авиационной и космической техники

Рис. 2. Схема реализации исследования



ми панелями по тематическим направлениям определялись окончательные варианты для опроса Дельфи.

Важным элементом подготовки перечня тем стало обоснование системы критериев для их отбора. С этой целью проведено специальное исследование, в результате которого экспертная группа, объединившая видных ученых в области социально-экономических наук и представителей органов государственного управления, выделила систему социально-экономических целей, на достижение которых должны быть направлены перспективные научные исследования и разработки (табл. 1). Подобный подход отвечает глобальным трендам новейших Форсайт-исследований, которые все сильнее ориентируются на социальные аспекты технологического развития [Aligica, Herritt, 2009; Georghiou et al., 2008; Joergensen et al., 2009].

Указанный комплекс базовых национальных социально-экономических приоритетов, как видно

из их содержания, служит также основой для обоснования приоритетов инновационного развития. И наоборот, почти все перечисленные цели могут быть успешно достигнуты лишь при опоре на науку и новые технологии, на наиболее весомые достижения в этой сфере⁴.

Организация и проведение опроса

Опрос Дельфи проводился в два раунда, в нем участвовали ведущие специалисты из сферы науки и образования, реального сектора экономики, органов государственного управления. В общей сложности были получены заполненные анкеты от более чем 2 тыс. экспертов из 40 регионов (рис. 3), представлявших около тысячи научно-исследовательских центров, вузов и производственных предприятий по всем важнейшим направлениям развития науки, технологий и техники.

Рис. 3. Региональное распределение экспертов, участвовавших в опросе



⁴ Аналогичные исследования, направленные на идентификацию национальных целей социально-экономического развития применительно к формированию научно-технологических приоритетов, проводятся во многих странах (см., например, [National Academy of Sciences, 2005; National Intelligence Council, 2004, 2008]).

Табл. 1. **Важнейшие цели социально-экономического развития России (по итогам экспертного исследования)**

Направления социально-экономического развития	Задачи, обеспечивающие развитие в данных направлениях
Человеческое развитие	Образование
	<ul style="list-style-type: none"> • обеспечение качественного общего (среднего) образования для всех групп населения • повышение качества и изменение структуры высшего образования в соответствии с потребностями рынка труда • развитие системы среднего профессионального образования с учетом потребностей экономики • создание условий для обеспечения непрерывного образования различных групп населения • развитие и продвижение дистанционного образования • повышение доступности всех видов образования для людей с ограниченными физическими возможностями
	Занятость и социальное обеспечение
	<ul style="list-style-type: none"> • улучшение условий маятниковой миграции (совершенствование инфраструктуры основных направлений маятниковой миграции в регионах: строительство и ремонт дорог, введение дополнительных маршрутов общественного транспорта, введение скоростных видов общественного транспорта) • создание условий для повышения внутренней мобильности населения • создание условий для адаптации мигрантов • сокращение смертности от внешних причин (отравления, убийства, самоубийства, травмы в быту и на производстве) • реабилитация инвалидов и их интеграция в производственную деятельность • создание инфраструктуры и условий, облегчающих уход за нетрудоспособными • развитие системы социальной реабилитации • использование новых механизмов в социальной помощи и социальном обслуживании с оценкой эффективности их отдельных форм и административных затрат
	Наука
	<ul style="list-style-type: none"> • развитие среды генерации знаний, обеспечение практического внедрения научных результатов • поддержка воспроизводства кадрового потенциала науки
	Культура
<ul style="list-style-type: none"> • расширение возможностей для духовного развития и удовлетворения культурных запросов • развитие информационных ресурсов (библиотеки, музеи, архивы и т. п.), их популяризация и расширение доступа к ним • развитие инфраструктуры и условий для отдыха и занятий спортом, популяризация здорового образа жизни 	
Здоровье	
<ul style="list-style-type: none"> • сокращение детской смертности и инвалидности • сокращение младенческой смертности • сокращение смертности и инвалидности в трудоспособном возрасте • повышение рождаемости (за счет улучшения здоровья женщин, использования технологий, связанных со снижением бесплодия, и т. д.) • повышение доступности и качества медицинской помощи (в стационаре и в амбулаторных условиях), в том числе лекарственного обеспечения • развитие системы ранней диагностики и профилактики заболеваний населения • снижение заболеваемости социально опасными болезнями 	
Жилищные условия	
<ul style="list-style-type: none"> • повышение обеспеченности населения качественным жильем по доступным ценам • обеспечение населения качественными коммунальными услугами по доступным ценам • адаптация жилых домов и прилегающих территорий для маломобильных групп населения 	
Экономическое развитие	Структура экономики
	<ul style="list-style-type: none"> • модернизация традиционных отраслей промышленности (рост производительности труда, повышение доли добавленной стоимости, снижение ресурсоемкости) • модернизация АПК, лесного хозяйства и рыболовства • модернизация и развитие торговли и сферы услуг • развитие высокотехнологичных отраслей • развитие экспорта с высокой добавленной стоимостью и низкой экологоемкостью • создание условий для развития малого предпринимательства
	Инфраструктура
<ul style="list-style-type: none"> • развитие транспортной сети, повышение ее качества, доступности и безопасности, в том числе экологической (автомобильный, железнодорожный, водный, воздушный, трубопроводный и другие виды транспорта) • развитие финансовой инфраструктуры, повышение ее надежности и доступности, снижение рисков участников • развитие ипотеки • развитие энергетической системы (производство, распределение, передача, хранение и использование электроэнергии) 	
Природные ресурсы	
<ul style="list-style-type: none"> • повышение объема разведанных запасов полезных ископаемых и природных ресурсов • повышение производительности эксплуатируемых месторождений • повышение степени переработки природных ресурсов внутри страны • развитие воспроизводимых природных ресурсов 	
Институциональное развитие	<ul style="list-style-type: none"> • обеспечение доступности и качества государственных услуг, создание механизмов обратной связи между государством, бизнесом, обществом • снижение уровня коррупции • повышение информационной прозрачности деятельности государственной власти • создание эффективной судебной-исполнительной системы • повышение уровня защиты прав собственности • развитие профессиональных ассоциаций, повышение их роли • создание эффективных институтов рынка труда • создание эффективной системы регионального управления • защита конкуренции на рынках, создание эффективных механизмов антимонопольного регулирования • снятие административных барьеров для бизнеса • повышение прозрачности бизнеса • развитие системы частно-государственного партнерства
	Экология
Экологическое развитие и безопасность	<ul style="list-style-type: none"> • выявление и нейтрализация источников загрязнения окружающей среды (воды, воздуха, земли) • защита от стихийных (природных) бедствий • улучшение санитарных условий жизнедеятельности человека
	Безопасность
<ul style="list-style-type: none"> • укрепление обороноспособности • снижение рисков и возможного ущерба от террористических угроз • повышение достоверности прогнозирования природных катастроф и их предупреждение • предотвращение материального и иного ущерба от природных и техногенных катастроф 	

Рис. 4. Доля экспертов, отметивших перспективность отдельных направлений прогноза с точки зрения экономических эффектов (%)



В ходе второго раунда опроса экспертам сообщались интегрированные результаты первого раунда с тем, чтобы каждый респондент имел возможность скорректировать свои ответы с учетом позиции профессионального сообщества.

В итоге по всем рассматриваемым направлениям научно-технологического развития выделены:

- ключевые научно-технические результаты, которые могут быть достигнуты в период до 2025 г.;
- прорывные технологии с оценкой их возможного вклада в решение важнейших социально-экономических проблем, а также в обеспечение национальной безопасности;
- перспективные рыночные ниши для российских производителей;
- потенциальные экономические, социальные и экологические эффекты, связанные с реализацией новых технологий;
- рекомендации по мерам научно-технической и инновационной политики, способствующим опережающему развитию актуальных технологических направлений.

Результаты прогноза

В целом эксперты оценивают перспективы вклада науки и технологий в экономическое и социальное развитие страны достаточно скромно. Лишь в области авиации, космоса и производственных систем большинство экспертов отметили возможность усиления позиций России на мировых рынках. Повышение конкурентоспособности на внутренних рынках в большей степени характерно для энергетики и энергосбережения, а нанотехнологии имеют наибольший потенциал для встраивания в цепочки добавленной стоимости (рис. 4).

Основные проблемы научно-технологического развития, на решение которых должна быть направлена государственная политика, связаны с финансовой поддержкой исследований и разработок, развитием инфраструктуры науки и подготовкой квалифицированных кадров. В то же время многие эксперты отмечают значимость привлечения средств бизнеса. Решающая роль в доведении результатов научных исследований до коммерческих продуктов отводится развитию инновационной инфраструктуры (рис. 5).

Далее приведены интегральные оценки перспектив развития отдельных направлений науки и технологий по итогам опроса Дельфи.

Информационно-телекоммуникационные системы

Перспективные направления развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в России имеют широкий спектр применения — от социальной сферы (системы дистанционного медицинского обслуживания и диагностики; открытые стандарты обмена медицинской информацией, обеспечивающие своевременное и повсеместное представление профессиональных медицинских услуг; миниатюрные устройства для мониторинга важнейших параметров здоровья; справочные системы и сервисы на базе GPS-технологий) до государственного управления (электронное правительство), интеллектуаль-

Рис. 5. Требуемые меры поддержки исследований и разработок и их коммерциализации (% от численности опрошенных экспертов)



ных систем управления производством, систем мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды и возникновения чрезвычайных ситуаций, систем обеспечения научных исследований (рис. 6).

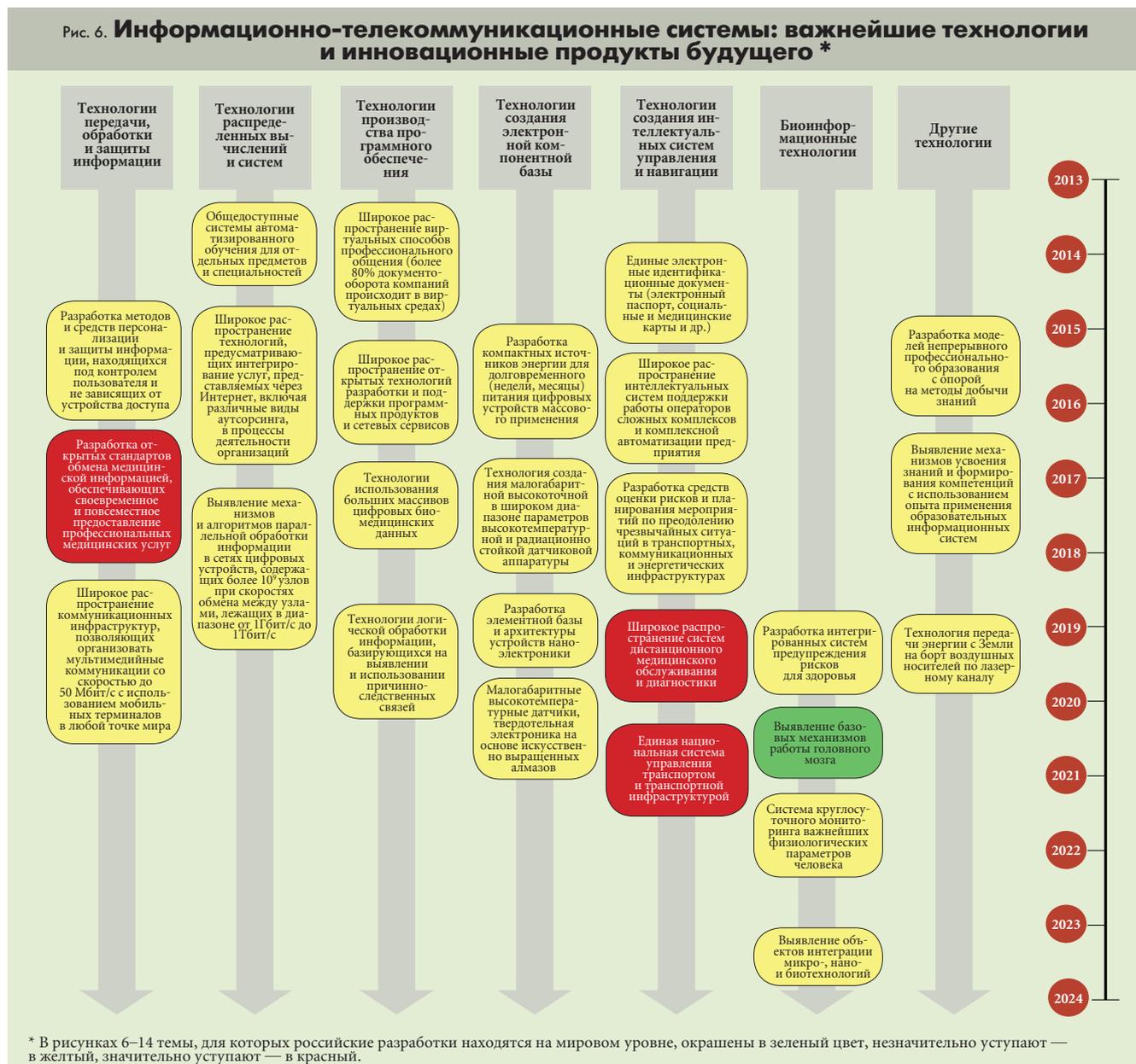
В сфере электроники наиболее актуальны относительно узкие и специфические области: малогабаритные высокотемпературные датчики; радиоэлектронные устройства, программируемые по радиоканалу; компоненты для электроники с тяжелыми условиями эксплуатации; компактные источники энергии для долговременного питания цифровых устройств массового применения; устройства твердотельной электроники на базе искусственно выращенных алмазов.

Вырастет потребность в защите информации от несанкционированного доступа и повышении надежности систем ее хранения. В сфере программного обеспечения приоритетное значение будут иметь открытые технологии разработки и поддержки программных продуктов, а также создание систем, обеспечивающих виртуальные способы профессионального общения и совместную работу территориально разобщенных групп специалистов.

Изменения в биоинформационных технологиях определятся инновациями на стыке микро-, нано- и биотехнологий, связанными с базовыми механизмами работы головного мозга и памяти, системами предупреждения рисков для здоровья и непрерывного мониторинга основных физиологических параметров организма. Другое важное направление имеет отношение к исследованию механизма усвоения знаний, в том числе при использовании образовательных информационных систем, и построению на этой базе моделей непрерывного профессионального образования.

Модернизация технологии распределенных вычислений и систем будет в значительной степени основана на создании алгоритмов параллельной обработки информации в высокоскоростных разветвленных сетях. Существенной сферой практического приложения в данной области станет интеграция различных услуг, предоставляемых через Интернет, а также введение в эксплуатацию систем автоматизированного обучения и организация доступа к формализованным знаниям.

Рис. 6. Информационно-телекоммуникационные системы: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего *



* В рисунках 6–14 темы, для которых российские разработки находятся на мировом уровне, окрашены в зеленый цвет, незначительно уступают — в желтый, значительно уступают — в красный.

По оценкам экспертов, Россия значительно отстает от развитых стран по уровню научных исследований в сфере ИКТ, сохраняя конкурентоспособность лишь в биоинформационных технологиях, технологиях производства программного обеспечения и технологиях распределенных вычислений и систем.

Индустрия наносистем и материалов

Развитие нанотехнологий будет сопровождаться разработкой метрологического обеспечения и приложений в электронике: элементной базы, метаматериалов для оптоэлектроники, сенсорной техники, магнитной томографии, микроскопии сверхвысокого разрешения, трехмерных полупроводниковых и металлических наноструктур на основе эффектов самоорганизации, энергонезависимых устройств долговременного хранения информации сверхвысокой емкости (рис. 7).

Самыми значимыми приложениями в отношении мембран и каталитических систем представляются

катализаторы для процессов нефтепереработки, экологии и энергосбережения, фильтры и мембраны для очистки воды, воздуха, опреснения воды, а также каталитический синтез наноматериалов из доступного углеводородного сырья.

В медицине будут широко использоваться биосовместимые материалы, имитирующие ткани живых организмов; наноматериалы для экстренной остановки кровотечений; материалы и покрытия для производства имплантов, работающих под нагрузкой; наноконтейнерные технологии векторной доставки лекарств; магнитные наносистемы с регулируемой точкой Кюри (42–45°C) для лечения злокачественных опухолей, доставки лекарств и магнитной томографии.

Весьма разнообразны способы применения полимеров и кристаллических материалов, среди них: материалы с повышенной механической прочностью и химической стойкостью; антифрикционные материалы и покрытия, кристаллические материалы для инфракрасной техники, спинтроники и фотоники.

Рис. 7. **Индустрия наносистем и материалов: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего**

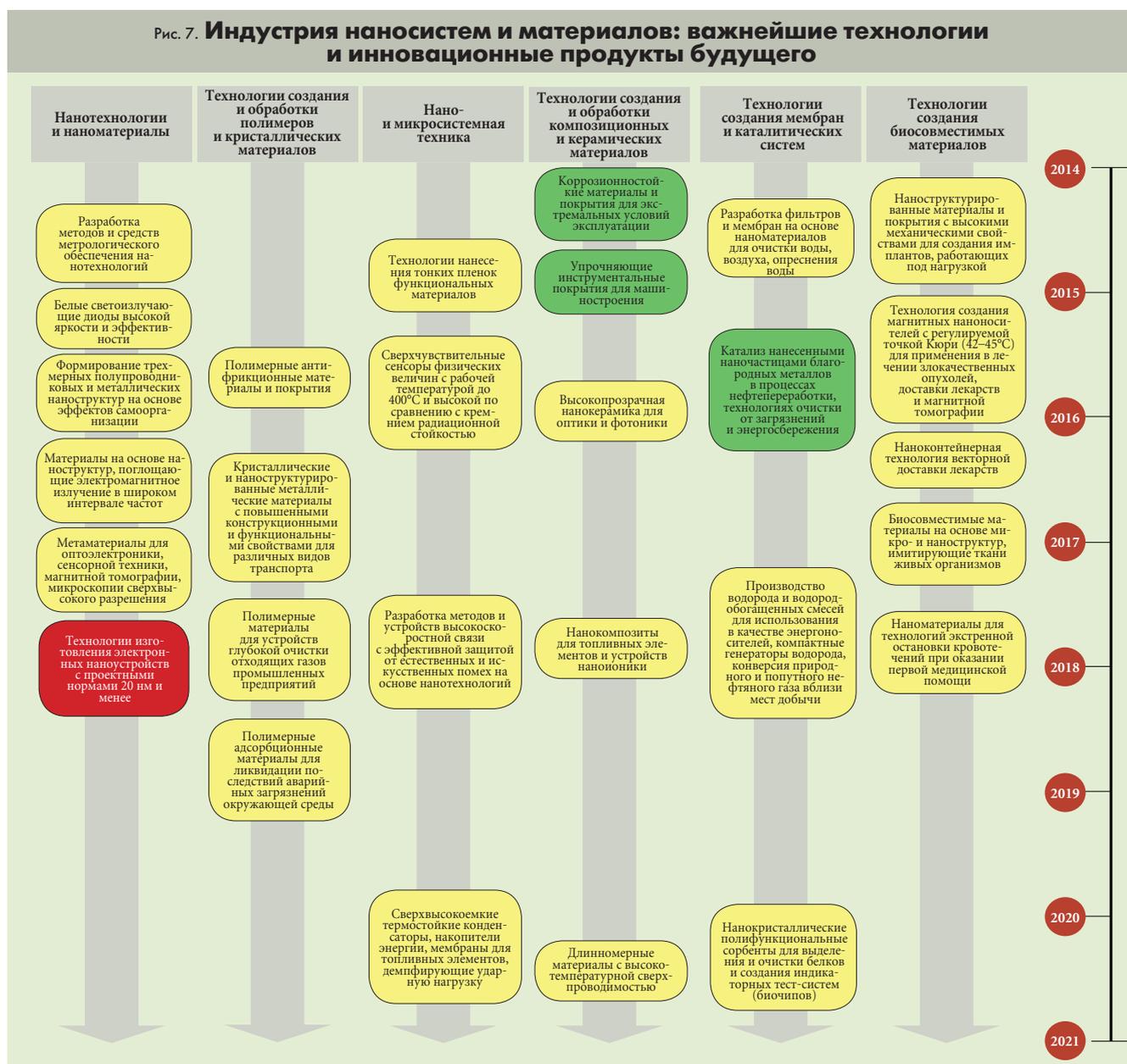
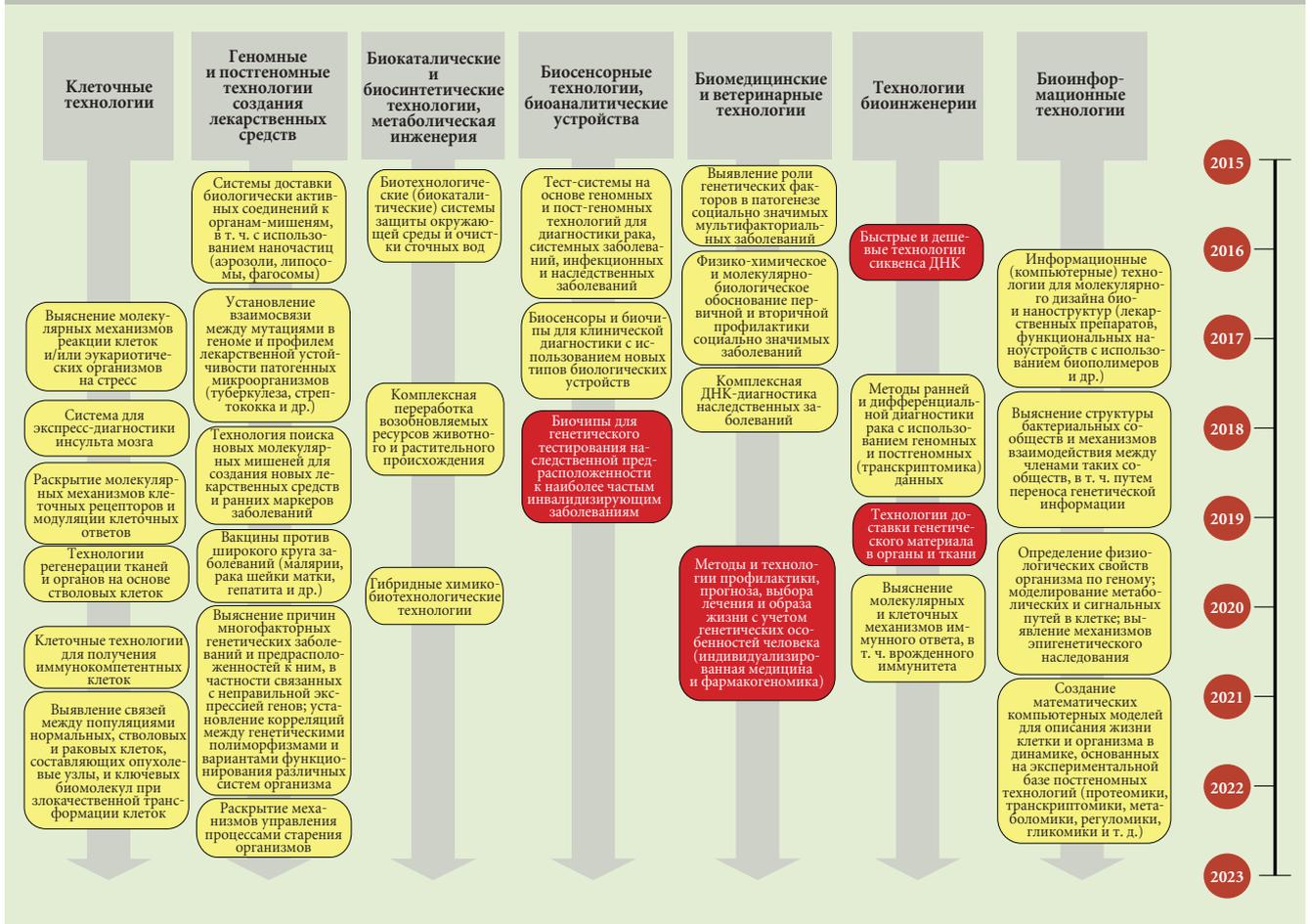


Рис. 8. Живые системы: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего



Значительный эффект ожидается от эксплуатации новых материалов в энергетике, в первую очередь для альтернативных источников энергии (солнечных батарей, портативных топливных элементов, аккумуляторов водорода, электрохимических и термоэлектрических источников тока, суперконденсаторов и др.).

Внедрение композиционных и керамических материалов поспособствует упрочнению инструментальных покрытий в машиностроении, повышению коррозионной стойкости материалов и покрытий для экстремальных условий эксплуатации. Среди перспективных приложений — высокопрозрачная нанокерамика для оптики и фотоники, нанокompозиты для топливных элементов и устройств наноэлектроники, ресурсосберегающие керамические мембраны с прецизионно регулируемой пористостью.

Что касается нано- и микросистемной техники, то особенно актуальны приложения для высокоскоростной связи с эффективной защитой от естественных и искусственных помех; моделирования наноприборов (нанотранзисторов и др.) для ультра-БИС с нормами проектирования в суб-20 нм диапазоне. Применительно к энергетике ожидается проектирование сверхчувствительных сенсоров физических величин с высокой по сравнению с кремнием радиационной стойкостью.

Уровень российских разработок в сфере нанотехнологий относительно выше, чем в других направ-

лениях, однако в целом отставание от мировых лидеров носит существенный характер⁵.

Живые системы

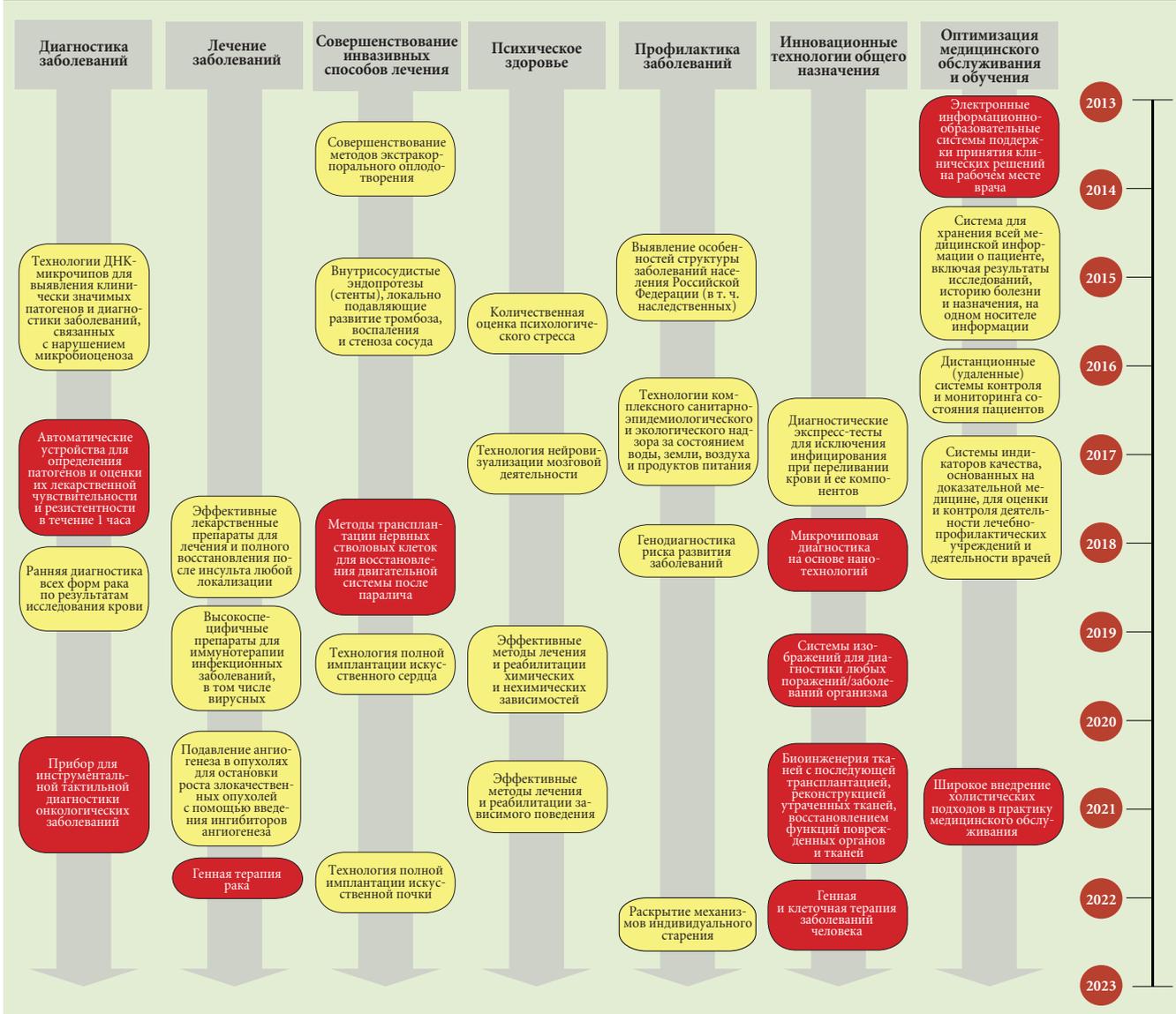
Технологии живых систем призваны сформировать основу для решения острых социальных проблем, касающихся каждого человека, — профилактики и лечения распространенных и опасных заболеваний, обеспечения радикального повышения эффективности сельскохозяйственного производства (рис. 8).

Наиболее перспективные направления в этой сфере связаны с интеграцией био-, нано- и информационных технологий. При этом, согласно экспертным оценкам, России жизненно необходимы разработки в области биосенсоров, биомедицины, клеточных, биокаталитических и биосинтетических технологий.

Основное практическое применение технологий живых систем ожидается в медицине, включая диагностику, профилактику и лечение социально значимых заболеваний (атеросклероза, ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда и др.); комплексную ДНК-диагностику наследственных заболеваний; индивидуальное генетическое тестирование. На базе клеточных технологий будет достигнут прогресс в области регенерации тканей и органов с использова-

⁵ Более подробно результаты Дельфи в области индустрии наносистем и материалов изложены в статье [Соколов и др., 2009].

Рис. 9. Медицина и здравоохранение: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего



нием стволовых клеток, иммунокомпетентных клеток, систем экспресс-диагностики инсульта мозга.

Биосенсорные технологии позволят разработать средства ранней диагностики заболеваний (тест-системы для диагностики рака, системных, инфекционных и наследственных заболеваний; биочипы для полуавтоматической регистрации генных маркеров наиболее значимых патологий и др.), выявления вредных веществ в пище и окружающей среде.

Прогресс геномных и постгеномных технологий существенно ускорит процесс создания лекарственных средств и повысит их эффективность. В практическом плане в качестве самых перспективных достижений стоит отметить поиск новых молекулярных мишеней для производства новых лекарственных средств и ранних маркеров заболеваний, открытие вакцин против широкого круга заболеваний (малярии, рака шейки матки, гепатитов А и С и др.). Нельзя недооценивать и системы доставки биологически активных соединений к органам-мишеням.

Биокаталические и биосинтетические технологии будут играть решающую роль для систем защиты окружающей среды и очистки сточных вод,

комплексной переработки возобновляемых ресурсов животного и растительного происхождения, разработки биodeградируемых пластиков, биосовместимых биополимерных материалов, самостерилизующихся поверхностей для медицины и т. п.

Биоинформационные технологии помогут в решении столь актуальных задач, как определение физиологических свойств организма по геному, молекулярный дизайн био- и наноструктур (лекарственных препаратов, функциональных наноустройств с использованием биополимеров и др.).

Технологии биоинженерии обеспечат доставку генетического материала в органы и ткани, быстрый и дешевый сиквенс ДНК, выведение трансгенных сельскохозяйственных растений с улучшенными свойствами. Вместе с тем в связи с острыми дискуссиями по поводу генетически модифицированных продуктов эксперты отмечают высокий уровень риска указанных технологий.

Российские разработки в области живых систем значительно уступают мировым. Несколько выше среднего уровень исследований и разработок в сфере биоинформационных, клеточных и биосенсор-

ных технологий, но и здесь отечественная наука конкурентоспособна лишь в отдельных направлениях.

Медицина и здравоохранение

Медицина и здравоохранение — важнейшие области применения новых технологий как с точки зрения их социальной значимости, так и с позиций появления новых масштабных рынков (рис. 9).

Изменения в диагностике заболеваний предусматривают создание методов ранней диагностики всех форм рака по результатам исследования крови и автоматических устройств, позволяющих за короткое время (до одного часа) определять патогены, оценивать их лекарственную чувствительность и резистентность; ввод в эксплуатацию приборов для неинвазивного определения глюкозы в крови.

Совершенствование профилактики заболеваний будет основано на изучении особенностей (в том числе наследственных) структуры заболеваний населения Российской Федерации; внедрении технологий комплексного санитарно-эпидемиологического и экологического надзора за состоянием воды, земли, воздуха и продуктов питания; генодиагностике риска развития заболеваний. Однако внедрение новых технологий не даст ожидаемого эффекта в отсутствие эффективных программ медико-санитарного просвещения и пропаганды здорового образа жизни населения.

Как следствие оптимизации медицинского обслуживания и обучения появятся системы хранения всей медицинской информации о пациенте (включая результаты исследований, историю болезни и назначения) на одном носителе информации, дистанционные системы контроля и мониторинга состояния пациентов.

Укреплению психического здоровья будут способствовать новации в методах лечения химических и нехимических зависимостей, зависимого поведения, реабилитации. Еще одно ключевое направление исследований в этой сфере — разработка высокоэффективных лекарственных препаратов для лечения больных с психическими расстройствами с минимальными побочными эффектами.

Новые технологии нацелены на формирование диагностических экспресс-тестов для исключения инфицирования при переливании крови и ее компонентов; генную и клеточную терапию заболеваний человека; микрочиповую диагностику на базе нанотехнологий; биоинженерию тканей с последующей трансплантацией, реконструкцией утраченных тканей, восстановлением функций поврежденных органов и тканей.

Выпуск внутрисосудистых эндопротезов (стен-тов), локально подавляющих развитие тромбоза, воспаления и стеноза сосуда; внедрение технологий полной имплантации искусственного сердца и искусственной почки; эволюция методов экстракорпорального оплодотворения — все это послужит распространению более совершенных инвазивных способов лечения заболеваний.

Перспективные технологии лечения включают создание высокоспецифичных препаратов для иммунотерапии инфекционных заболеваний, в том числе вирусных; эффективных препаратов для лечения и полного восстановления после инсульта любой локализации; препаратов для лечения и полного восстановления функций печени при вирусных гепатитах; высокоэффективных противовирусных лекарственных препаратов с минимальными побочными эффектами; препаратов для иммунотерапии и иммунопрофилактики туберкулеза (в частности, латентного), а также подавление роста злокачественных опухолей с помощью введения ингибиторов ангиогенеза.

В сфере медицинских технологий наблюдается серьезное отставание от США, которые лидируют практически по всем направлениям. Относительно стабильные позиции отечественной науки отмечаются лишь в таких областях, как «психическое здоровье» и «совершенствование инвазивных способов лечения».

Рациональное природопользование

Россия обладает колоссальными природными ресурсами (включая полезные ископаемые, лес, воду, уникальные природные объекты), на которых в огромной степени основывался экономический рост последних лет. В то же время эффективность использования этих ресурсов остается крайне низкой. Появление новых технологий позволит не только решать эти проблемы, но и существенно улучшить состояние окружающей среды, повысить качество жизни россиян (рис. 10).

В качестве наиболее значимых эксперты отметили технологии геоинформационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования, которые дадут возможность в режиме реального времени оценивать и прогнозировать состояние различных видов природных ресурсов (земли и ландшафтов, водных ресурсов, биологических ресурсов морей и океанов и др.), осуществлять средне- и крупномасштабное экологическое картографирование, предлагать методы рационального использования лесов. Не менее важны экологически безопасные разведка, разработка месторождений и добыча природных ресурсов (в частности, на шельфе Мирового океана), а также рекультивация техногенно нарушенных территорий.

В части снижения риска природных и техногенных катастроф следует упомянуть комплексную систему оценки рисков для здоровья населения от загрязнения окружающей среды и систему интегрального мониторинга безопасности и качества сельскохозяйственного сырья, применяемых компонентов (включая генно-модифицированные организмы) и продуктов питания.

Наиболее актуальные направления предотвращения и снижения загрязнения окружающей среды, переработки и утилизации техногенных образований и отходов включают технологии экологически безопасной переработки и утилизации бытовых и промышленных отходов; технологии очистки вы-

бросов промышленных предприятий в атмосферный воздух — мелкодисперсных частиц, канцерогенных веществ и т. п.

Высоко значение эффективных технологий в допользования (очистки сточных и дренажных вод промышленных производств, населенных пунктов и селитебных зон), восстановления качества загрязненных поверхностных и подземных вод.

Согласно оценкам экспертов, Россия, уступая мировым лидерам по большинству позиций, удерживает лидерство в сфере оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы, в том числе изучения роли биоразнообразия для обеспечения экологической безопасности.

Энергетика и энергосбережение

Для достижения высоких темпов роста отечественной экономики необходимо ее устойчивое энергообеспечение, что предполагает как ускорение прироста энергопроизводящих мощностей, так и значительное снижение потерь при передаче и использовании электроэнергии.

Основные направления развития энергетики в России охватывают технологии энергосберегающих систем, производство энергии на основе органического топлива, атомную энергетику, новые и возобновляемые источники энергии (рис. 11).

Инновации в энергосбережении связаны с проектированием и строительством энергоэффективных зданий, что приведет к кратному снижению энергозатрат при их эксплуатации, а также с применением «умных» датчиков, призванных усовершенствовать управление процессами в энергетике. Радикальное повышение энергоэффективности может быть достигнуто за счет разработки и внедрения интеллектуальных систем мониторинга, диагностики и автоматического управления и формирования на этой базе сетей smart-grid, которые за счет оптимизации функционирования обеспечат сокращение потерь в сетях передачи энергии, аккумулирование энергии, выбор самых эффективных механизмов подключения производителей и пользователей энергии к сетям.

Производство энергии с использованием органического топлива будет развиваться за счет возведения

Рис. 10. Рациональное природопользование: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего

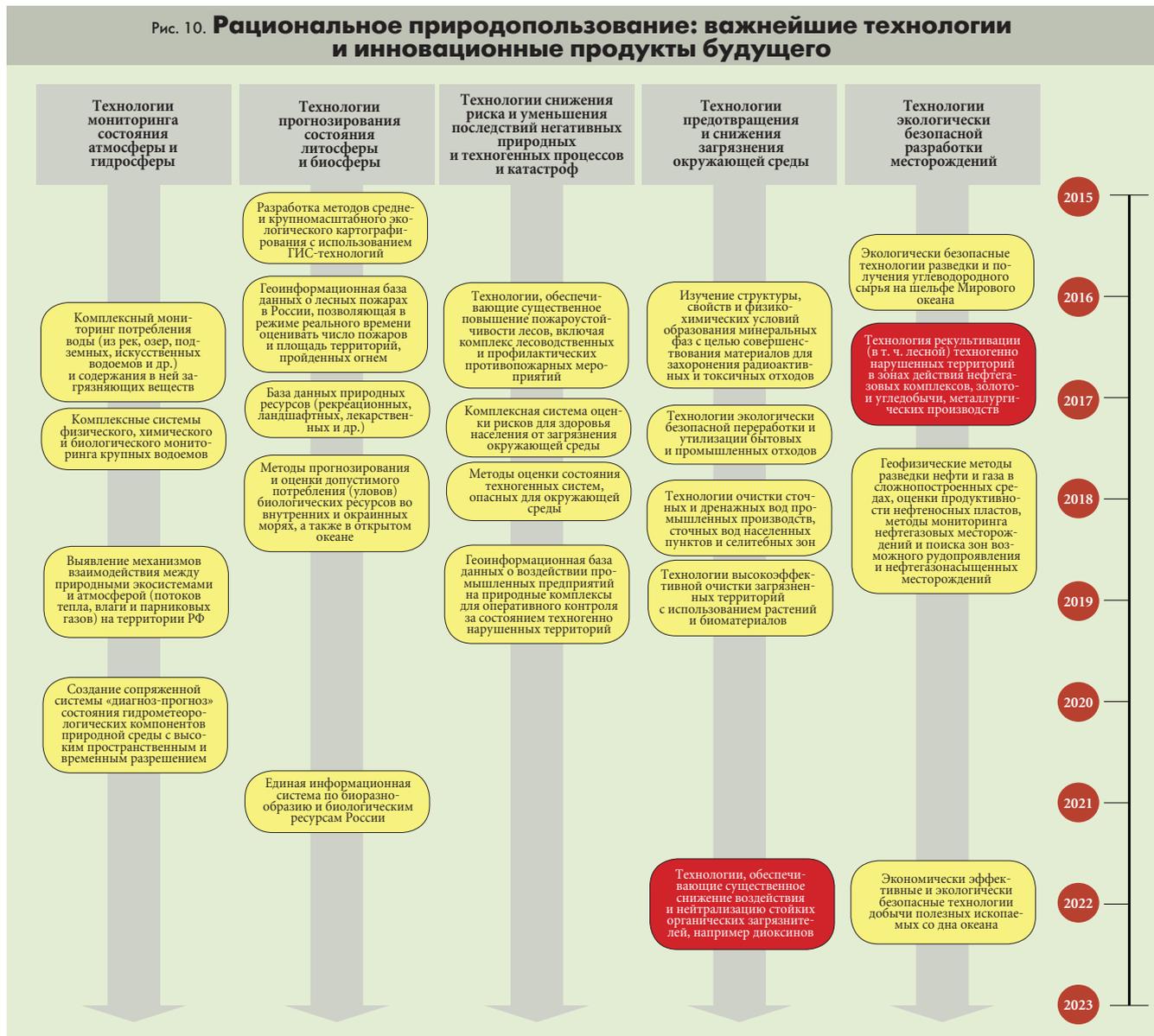
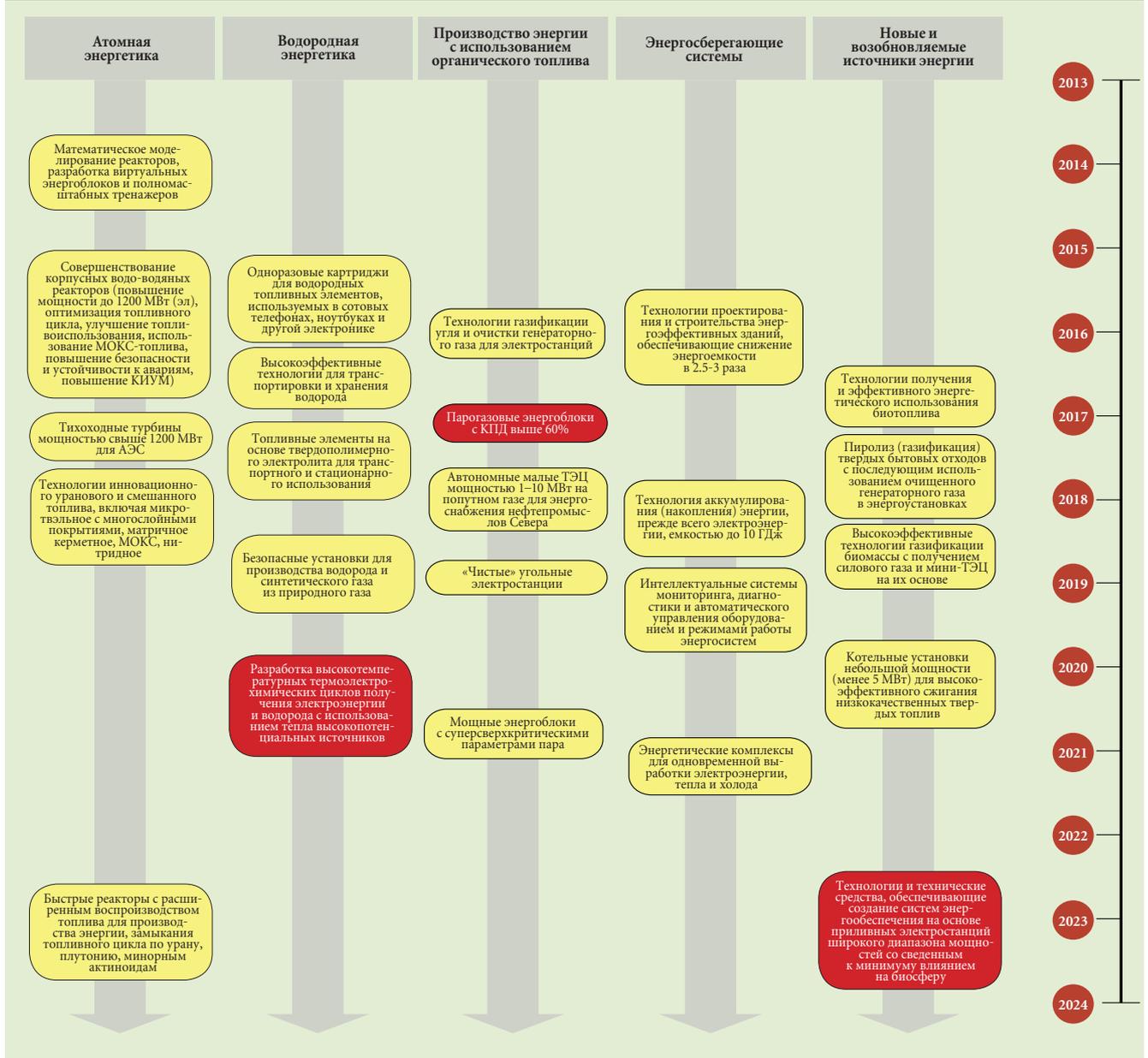


Рис. 11. Энергетика и энергосбережение: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего



«чистых» угольных электростанций, отвечающих современным экологическим требованиям, эксплуатации парогазовых энергоблоков с КПД выше 60%, применения эффективных технологий получения углеводородов из угля. Будут востребованы малые ТЭЦ (с электрической мощностью 1–10 МВт), газотурбинные мини-ТЭЦ на различных видах топлива мощностью порядка 10 МВт(э) и 20 МВт(т), в том числе с регенеративным циклом, и мощные газотурбинные установки с начальной температурой газа 1350–1700°C.

В соответствии с программами развития атомной энергетики ее доля в производстве энергии в России должна существенно вырасти в ближайшие 10–15 лет. Наряду с совершенствованием традиционных корпусных водо-водяных реакторов перспективы атомной энергетики будут базироваться на создании реакторов на быстрых нейтронах, технологиях уранового и смешанного топлива. Экспертами отмечались технологии замыкания топливного цикла,

обогащения и разделения изотопов; строительство плавучих атомных энергоблоков для энергоснабжения, теплофикации и обеспечения пресной водой отдаленных районов.

Водородная энергетика будет базироваться на высокоэффективных технологиях транспортировки и хранения водорода; высокочастотных, компактных и легких наноструктурных материалах для аккумулялирования водорода и природных газов; топливных элементах на основе твердополимерного электролита для транспортного и стационарного применения; безопасных установках для производства водорода и синтетического газа из природного газа.

С точки зрения новых и возобновляемых источников энергии для России наиболее перспективными являются: газификация твердых бытовых отходов с утилизацией полученного газа в энергоустановках; технологии газификации биомассы с возведением мини-ТЭЦ; технологии получения и энергетического использования биотоплива.

В целом Россия отстает от мировых лидеров в области энергетических технологий. Это отставание менее заметно в атомной энергетике и энергосберегающих системах. В сфере водородной энергетики и производства энергии с использованием органического топлива позиции нашей страны существенно ниже мировых.

Авиационно-космические и транспортные системы

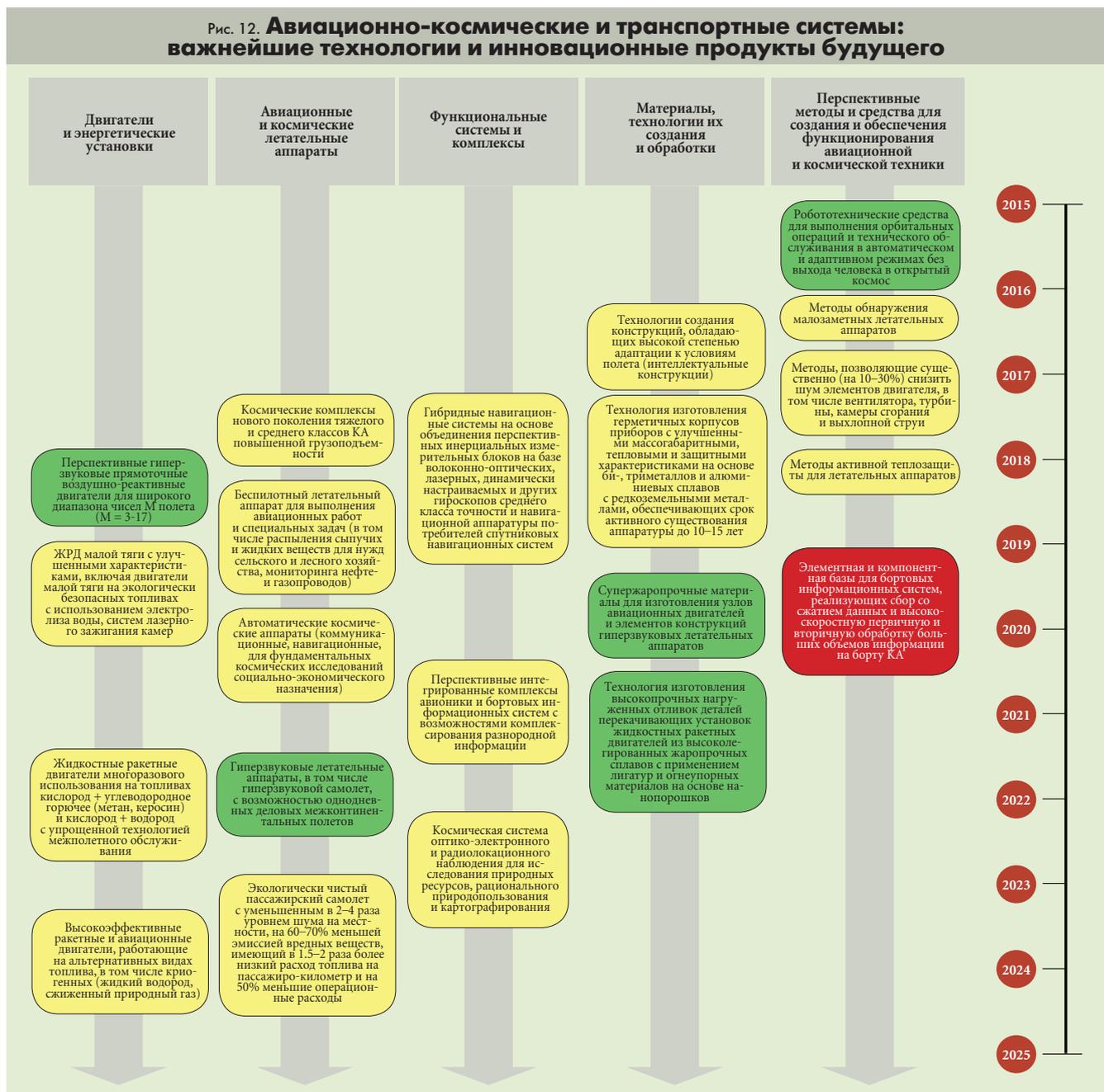
Будущее авиации и космоса в значительной степени зависит от прогресса в сфере материаловедения, разработки более эффективных двигателей и энергетических установок, авионики (рис. 12).

Среди технологий создания и обработки материалов для авиационной и космической техники эксперты выделяют изготовление герметичных корпусов приборов с улучшенными массогабаритными, тепло-

выми и защитными характеристиками на базе би- и триметаллов и алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами; внедрение интеллектуальных конструкций с высокой степенью адаптации к условиям полета; производство высокопрочных нагруженных отливок деталей перекачивающих установок жидкостных ракетных двигателей из высоколегированных жаропрочных сплавов с применением лигатур и огнеупорных материалов на основе нанопорошков; получение неразъемных соединений методами сварки плавлением и высокотемпературной пайки конструкций из сталей и сплавов; производство супержаропрочных материалов для изготовления узлов авиационных двигателей и элементов конструкций гиперзвуковых летательных аппаратов.

Усовершенствование двигателей и энергетических установок тесно связано с применением альтернативных видов топлива, в том числе криогенных (жидкий водород, сжиженный природный газ),

Рис. 12. Авиационно-космические и транспортные системы: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего



созданием жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) многоразового использования на топливах кислород + углеводородное горючее (метан, керосин) и кислород + водород, ЖРД малой тяги с улучшенными характеристиками, включая двигатели на экологически безопасных топливах с использованием электролиза воды, а также космических ядерных энергетических установок.

Функционирование авиационной и космической техники обусловлено развитием методов снижения шума элементов двигателя, активной теплозащиты для летательных аппаратов; робототехнических средств для выполнения орбитальных операций и технического обслуживания в автоматическом и адаптивном режимах без выхода человека в открытый космос; средств защиты орбитальных станций и космических аппаратов от воздействия частиц космического мусора, метеоритов и факторов космического пространства.

Применение передовых технологий позволит сконструировать летательные аппараты с существенно улучшенными характеристиками. В качестве примеров можно назвать экологически чистый пассажирский самолет с уменьшенным в 2–4 раза уровнем шума на местности и на 60–70% — эмиссией вредных веществ, имеющий расход топлива на пассажиро-километр в 1.5–2 раза ниже обычного и сокращенные вдвое операционные расходы; беспилотный летательный аппарат для выполнения авиационных работ и специальных задач (распыления сыпучих и жидких веществ для нужд сельского и лесного хозяйства, мониторинга нефте- и газопроводов и др.); автоматические космические аппараты (коммуникационные, навигационные, для фундаментальных космических исследований и т. п.); космические комплексы нового поколения тяжелого и среднего классов космических аппаратов повышенной грузоподъемности; космический комплекс системы подвижной спутниковой связи и многофункциональной системы ретрансляции.

На базе новых технологий будут создаваться гибридные навигационные системы; системы навигационного обеспечения управления космическими аппаратами на основе ГЛОНАСС; космические системы оптико-электронного и радиолокационного наблюдения для исследования природных ресурсов, рационального природопользования и картографирования и др.

В данной сфере по сравнению с другими направлениями технологического развития Россия занимает довольно благоприятные позиции на фоне мировых лидеров, однако в целом уступает им в уровне разработок, в первую очередь в части создания функциональных систем, комплексов, методов, средств обеспечения работы авиационной и космической техники.

Производственные системы и промышленная инфраструктура

Для того чтобы успешно применять на практике современные научно-технические достижения

и в широких масштабах выпускать конкурентоспособную продукцию, необходимо располагать самыми совершенными производственными технологиями. Промышленное оборудование все более насыщается электроникой, средствами гибкой автоматизации и контрольно-диагностическими системами, а доля ручного труда непрерывно снижается.

Подъем отечественного машиностроения в первую очередь может быть основан на введении современных производственных систем и промышленной инфраструктуры, в основе которой, по мнению экспертов, лежит использование новых материалов, средств их обработки и диагностики (рис. 13).

Так, металлические нанокристаллические и наноструктурированные материалы послужат повышению износостойкости узлов трения машин и механизмов. Выявление закономерностей в изменении структуры материалов при одновременном воздействии температуры и нагрузок, особенно при их резкой смене, приведет к рационализации процессов получения наноструктурных защитных и упрочняющих покрытий. Новые материалы будут, в частности, задействованы при строительстве газонефтепроводов, эксплуатируемых в особо сложных условиях.

Новые методы и средства формообразования обусловлены появлением новых технологий высококачественного проката и стального литья; прецизионными технологиями формообразования (вплоть до достижения нанометровой точности); сверхвысокими скоростями обработки материалов.

Соединение материалов и покрытия названо экспертами в качестве одного из приоритетных направлений развития производственных систем. Здесь в качестве перспективных отмечаются: технологии создания на деталях из тугоплавких металлов и углеродных материалов защитных покрытий, позволяющих работать в окислительной среде при температуре до 2000°C; сварочные технологии, с помощью которых удастся сохранить исходные свойства соединяемых материалов — их износостойкость, твердость и прочность, а также методы прогнозирования, диагностики, контроля и управления свойствами соединений материалов, гарантирующие надежность ответственных объектов в ключевых областях промышленности (атомно-энергетической, нефтегазовой, ракетно-космической, оборонной и др.). Разработка промышленных установок для нанесения наноструктурных защитных и упрочняющих покрытий, а также наноламинантных покрытий без применения цинка и алюминия представляется не менее важным фактором. Технологии лазерной сварки конструкционных материалов и электронно-лучевые технологии с программным управлением обеспечат повышенную точность обработки, безотходное объемное формообразование деталей без механической обработки.

Более совершенные методы диагностики и прогнозирования позволят оценивать надежность особо ответственных объектов и осуществлять мониторинг состояния материалов и конструкций с использованием диагностических приборов — высоко-

информативных магнитных и электромагнитных дефектоскопов-томографов, ультразвуковых томографических дефектоскопов с трехмерным изображением и т. п.

Эволюция теории мехатронных устройств как сложных инженерных комплексов, реализующих интеграцию элементов механики, электротехники и электроники, послужит толчком к изобретению сложных роботов и унифицированных мехатронных модулей. В результате станет возможным конструирование принципиально новых металлообрабатывающих станков, которые в комплексе с наноматериалами нового поколения и композиционными материалами на их основе радикально повысят эффективность и гибкость машиностроительных производств.

Сегодня в области производственных систем Россия отстает от мировых лидеров практически по всем направлениям, за исключением отдельных лазерных технологий, ряда технологий производства металлических материалов, устойчивых к углеродной коррозии, и информационных средств диагностики материалов.

Безопасность на производстве, транспорте и в повседневной жизни

Вопросы безопасности, в том числе технологической, выходят на первый план в связи с постоянным усложнением производственной и социальной инфраструк-

туры, быстрым развитием информационных технологий, необходимостью безотлагательной и адекватной реакции на возникновение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (рис. 14).

Наиболее актуальная тематика, относящаяся к данной сфере, связана с обеспечением пожарной безопасности и безопасности на транспорте и в общественных местах.

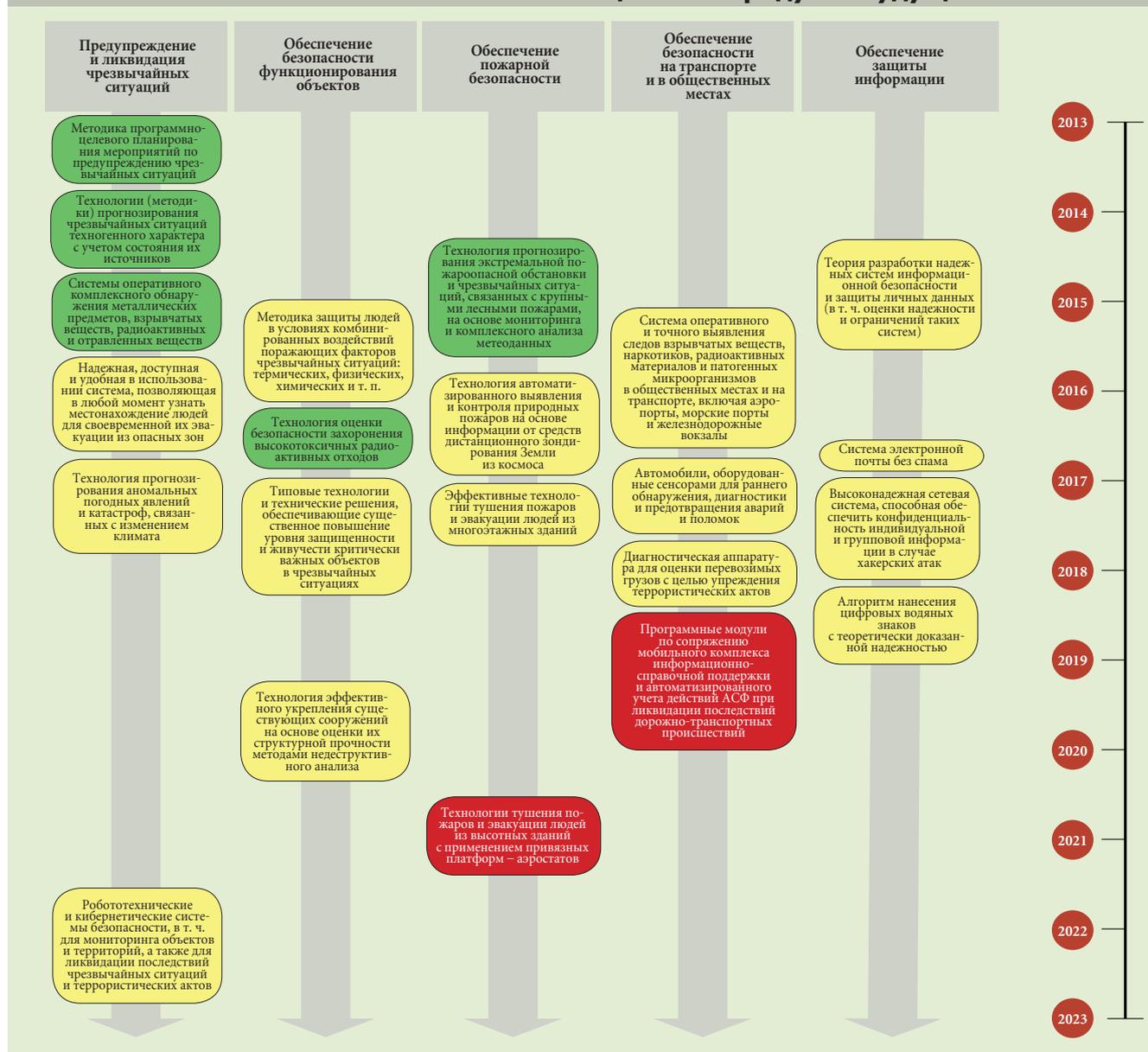
В разделе «Обеспечение пожарной безопасности» в качестве самых перспективных назовем технологии прогнозирования экстремальной пожароопасной обстановки и чрезвычайных ситуаций, связанных с крупными лесными пожарами, посредством мониторинга и комплексного анализа метеоданных; автоматизированного выявления и контроля природных пожаров на основе информации от средств дистанционного зондирования Земли из космоса; раннего обнаружения крупных лесных пожаров с использованием спутников; тушения пожаров и эвакуации людей из многоэтажных зданий.

В отношении обеспечения безопасности на транспорте и в общественных местах востребованными будут технологии оперативного и точного выявления следов взрывчатых веществ, наркотиков, радиоактивных материалов и патогенных микроорганизмов, в том числе в аэропортах, морских портах и на железнодорожных вокзалах. Следует упомянуть и разработку диагностической аппаратуры для оценки перевозимых грузов с целью упреждения террористических актов.

Рис. 13. Производственные системы и промышленная инфраструктура: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего



Рис. 14. **Безопасность на производстве, транспорте и в повседневной жизни: важнейшие технологии и инновационные продукты будущего**



Для защиты информации потребуются надежные системы информационной безопасности и обеспечения конфиденциальности личных данных (оценки надежности и ограничений таких систем и т. п.), электронная почта без спама, высоконадежные сетевые системы обеспечения конфиденциальности индивидуальной и групповой информации в случае хакерских атак; технологии определения источника подозрительных пакетов информации для выявления несанкционированного доступа.

Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций предполагают внедрение комплексных методов программно-целевого планирования соответствующих мероприятий с одновременным развитием технологий прогнозирования аномальных погодных явлений и катастроф; прогнозирование чрезвычайных ситуаций техногенного характера с учетом состояния их источников; формирование систем оперативного комплексного обнаружения металлических предметов, взрывчатых, радиоактивных и ядовитых веществ; создание робототехнических и кибернетических систем безопасности.

Безопасность функционирования объектов напрямую связана с совершенствованием методов защиты людей в условиях комбинированных (термических, физических, химических и т. п.) воздействий поражающих факторов, технологиями эффективного укрепления существующих сооружений на основе оценки их структурной прочности посредством неdestructивного анализа и безопасности захоронения высокотоксичных радиоактивных отходов.

Российские разработки отвечают мировым стандартам по ряду направлений, связанных с предупреждением и ликвидацией чрезвычайных ситуаций, защитой информации и пожарной безопасностью. Отставание отмечается в сфере обеспечения безопасности на транспорте и в общественных местах.

Заключение

Итоги проведенного Форсайт-исследования создают основу для системного анализа перспектив развития науки и технологий, оценки эффектов, которые мо-

гут быть получены за счет применения их достижений в социально-экономической сфере.

Использование результатов прогноза может носить многоцелевой характер и охватывать, в частности, следующие направления:

1. Определение перспективной тематики научных исследований. По итогам прогноза могут быть выделены технологические кластеры, развитие которых обеспечит конкурентоспособность тех или иных секторов экономики. Для указанных кластеров, в свою очередь, могут быть разработаны технологические дорожные карты, в рамках которых идентифицируются вероятные траектории достижения поставленных целей (выхода на рынки в рамках отдельных продуктовых групп, решения социальных задач и др.) и соответствующие им области проведения научных исследований и технологических разработок, необходимых для решения поставленных задач. В качестве перспективных научно-технологических направлений при этом выбираются те, которые обеспечивают формирование инновационных цепочек и служат созданию ключевых технологий и компонентов продукции.

2. Подготовка предложений по корректировке состава приоритетных направлений научно-технологического развития и критических технологий. Перечни инновационных продуктов и услуг, отличающихся наибольшим вкладом в решение экономических и социальных проблем, которые будут созданы в средне- и долгосрочной перспективе, могут быть использованы далее для разработки предложений по уточнению набора критических технологий. Это позволит учесть возникающие межотраслевые (междисциплинарные) технологические решения, создающие предпосылки для дальнейшего развития

тематических направлений, и более точно идентифицировать важнейшие из них.

3. Обоснование научно-технической политики на федеральном, отраслевом и региональном уровнях. Результаты прогноза обеспечивают значительное расширение информационной базы для формирования политики за счет интеграции мнения ведущих экспертов о ключевых факторах развития науки и технологий в России. В частности, прогноз продемонстрировал существенное отставание России от стран – лидеров в ряде областей науки и технологий, что в условиях резкого ограничения доступных ресурсов приводит к необходимости поиска более эффективных инструментов научно-технической и инновационной политики, дальнейшей концентрации усилий на направлениях, способных обеспечить максимальный эффект.

4. Информационная поддержка стратегий компаний реального сектора. Как показали результаты опросов, крайне малая доля российских предприятий пытается выстраивать стратегии своего развития хотя бы на 5–7 лет вперед. Обращение к результатам прогноза поможет бизнесменам, руководителям компаний увидеть как новые возможности, так и подводные камни, связанные с возникновением новых технологий.

5. Проведение комплексных межстрановых сопоставлений с привлечением результатов Форсайт-исследований, статистической, библиометрической, патентной и т. п. информации, анализа широкого круга информационных источников. В рамках таких исследований можно четче определить возможные направления международной научно-технической кооперации и перспективные ниши, в которых Россия может расширять свое присутствие. ■

Денисов Ю.Д. В Японии смотрят сквозь Дельфи // Форсайт, 2007, № 1. С. 62–67.

Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.

Кукушкина С.Н. Метод Дельфи // Форсайт, 2007, № 1. С. 68–72.

Соколов А.В. Форсайт: взгляд в будущее // Форсайт, 2007, № 1. С. 8–14.

Соколов А.В., Карасев О.И., Шашнов С.А., Рудь В.А. Долгосрочный прогноз развития российской наноиндустрии с использованием метода Дельфи // Российские нанотехнологии, 2009, т. 4, № 5–6. С. 33–40.

Aligica P.D., Herritt R. Epistemology, Social Technology and Expert Judgment: Olaf Helmer's contribution to futures research // Futures, 2009, vol. 41. P. 253–258.

BMBF. Delphi '98 Umfrage. Zukunft Nachfrage. Studie zur Globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. 1998.

Cuhls K., Kuwahara T. Outlook for Japanese and German Future Technology. Comparing Technology Forecast Surveys. Physica-Verlag, 1994.

Georgiou L. et al. (eds). The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice. Edward Elgar Publishing, 2008.

Gordon T., Helmer O. Report on a Long-Range Forecasting Study. The RAND Corporation, P–2982, 1964.

Joergensen M.S., Jorgensen U., Clausen C. The Social Shaping Approach to Technology Foresight // Futures, 2009, vol. 41. P. 80–86.

Lempert R.J., Popper S.W., Bankers S.C. Shaping the Next One Hundred Years. New Methods for Quantitative Long-Term Policy Analysis. RAND, 2003.

Loveridge D., Georgiou L., Nedeva M. United Kingdom Foresight Programme. PREST. University of Manchester, 1995.

National Academy of Sciences. Rising Above the Gathering Storm. Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future. Washington D.C., 2005.

National Intelligence Council. Mapping the Global Future. Washington D.C., 2004.

National Intelligence Council. Global Trends 2025: A Transformed World. Washington D.C., 2008.

NISTEP. The 8-th Science and Technology Foresight Survey: Delphi Analysis. Report № 97. Tokyo, 2005a.

NISTEP. Comprehensive Analysis of Science and Technology Benchmarking and Foresight. Report № 99. Tokyo, 2005b.

Park B., Seok-ho S. Korean Technology Foresight for Science and Technology Policy Making // Materials of Second International Seville Seminar on Future Oriented Technology Analysis. Seville, 28–29 September 2006.

Popper R. How are Foresight Methods Selected // Foresight, 2008, vol. 10, № 6. P. 62–89.

Tsujino T., Yokoo Y. Technology Foresight Surveys in China // Science and Technology Trends, Quarterly Review, № 20, July 2006.

UNIDO Technology Foresight Manual. Organization and Methods. Vol. 1, Vienna, 2005.