



**Научное обеспечение
реализации приоритетов
научно-технологического развития
Российской Федерации**

В двух томах

**Научные сессии Общего собрания членов РАН
и Общих собраний отделений РАН
Ноябрь 2018 г.**

Под редакцией
академика РАН В.Г. Бондура,
члена-корреспондента РАН А.А. Макоско



МОСКВА, 2019 г.



Российская Академия Наук

**Научное обеспечение
реализации приоритетов
научно-технологического развития
Российской Федерации**

Том 1

**Научная сессия Общего собрания членов РАН
13-14 ноября 2018 г.**

Под редакцией
академика РАН В.Г. Бондура,
члена-корреспондента РАН А.А. Макоско



МОСКВА, 2019 г.

УДК 087.7

ББК 71

Н 34

Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. Научные сессии Общего собрания членов РАН и Общих собраний отделений РАН: в 2-х томах. – М.: Российская академия наук, 2019 / Под редакцией академика РАН **В.Г. Бондура** и члена-корреспондента РАН **А.А. Макоско**.

Т.1: Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. Научная сессия Общего собрания членов РАН 13-14 ноября 2018 г. – М.: Российская академия наук, 2019 / Под ред. академика РАН **В.Г. Бондура** и члена-корреспондента РАН **А.А. Макоско**. – 432 с.

Том 1 содержит материалы докладов и выступлений на Научной сессии Общего собрания членов РАН «Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации», состоявшейся 13-14 ноября 2018 г. Материалы подготовлены ведущими учеными страны. Они охватывают широкий спектр научных исследований и отражают научные достижения многих научных коллективов, посвященные данной проблематике.

Продемонстрирована актуальность исследований, направленных на реализацию приоритетов, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, и основных положений Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204. Показано, что по ряду направлений исследований, соответствующих этим приоритетам, намечены пути получения новых научных результатов в таких областях, как: ресурсосберегающая энергетика; добыча и переработка углеводородного сырья; цифровые технологии; роботизированные системы; новые материалы; методы обработки больших данных; методы гуманитарных и социальных наук для эффективного ответа российского общества на большие вызовы; противодействие различным угрозам и терроризму; высокотехнологичное здравоохранение; обеспечение связности территории страны; освоение и использование космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики; разработка систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных; создание безопасных продуктов питания. Эти результаты могут быть развиты и положены в основу формирования комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла.

Книга предназначена для органов государственной власти, организаций реального сектора экономики, широкого круга специалистов из госкорпораций, научных работников, профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов старших курсов образовательных учреждений.

ISBN 978-5-907036-54-3

© Российская академия наук, 2019

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Вступительное слово Президента РАН академика РАН Сергеева А.М.....	9
Выступление заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Голиковой Т.А.....	11
Выступление первого заместителя министра науки и высшего образования Российской Федерации академика РАН Трубникова Г.В.	17

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии».....	22
--	----

<i>В.Е. Фортков.</i> Вступительное слово председателя совета по приоритету: О вызовах и приоритетах научно-технологического развития энергетике России.....	23
<i>С.П. Филиппов.</i> Первоочередные комплексные научно-технические программы в энергетике	37
<i>О.Е. Аксютин.</i> Научно-технические проблемы добычи, транспортировки и переработки природного газа.....	55
<i>А.М. Кашин.</i> Распределенная энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем.....	62
<i>Ю.К. Петреня.</i> Развитие газотурбинных энергетических технологий в России....	70
<i>Ю.А. Оленин В.И. Ильгисонис.</i> Актуальные научно-технические проблемы атомной энергетики.....	81
<i>С.В. Алексеенко.</i> Перспективные технологии возобновляемой энергетики.....	90
<i>В.И. Бухтияров.</i> Предложения рабочей группы «Добыча, транспортировка и переработка углеводородного сырья»	105
<i>А.Э. Конторович.</i> Об освоении ресурсов Баженовской свиты.....	107
<i>С.М. Алдошин.</i> О формировании проектов полного инновационного цикла.....	109

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта».....	110
---	-----

<i>И.А. Каляев.</i> Вступительное слово председателя совета по приоритету.....	111
<i>В.В. Воеводин.</i> Суперкомпьютерные технологии в цифровом мире: теория, практика, образование	114
<i>С.Л. Чернышев, А.Н. Шиплюк.</i> Суперкомпьютерные технологии в аэрокосмических приложениях.....	120
<i>Б.Н. Четверушкин.</i> Высокопроизводительные алгоритмы и математическое обеспечение – ключ к успеху развития суперкомпьютерных технологий.....	123
<i>С.А. Тихоцкий, М.М. Хасанов.</i> Высокопроизводительные вычисления и анализ больших данных для повышения эффективности разведки и разработки месторождений полезных ископаемых	125
<i>А.В. Дуб.</i> Роль суперкомпьютерных вычислений в развитии новых производственных технологий.....	132

<i>И.А. Соколов.</i> Теория и практика применения методов искусственного интеллекта	136
<i>С.Ю. Желтов.</i> Перспективы интеллектуализации пилотируемой и беспилотной авиации	143
<i>Н.А. Колчанов, Д.И. Свириденко, В.А. Иванисенко, Е.Е. Витяев, М.П. Пономаренко, О.В. Сайк, С.А. Лашин, Ю.В. Зозуля.</i> Методы искусственного интеллекта для наук о жизни	160
<i>Д.В. Ушаков.</i> Методы искусственного интеллекта в социально-гуманитарной сфере	161
<i>Г.С. Осипов, И.С. Ашманов.</i> Методы и технологии искусственного интеллекта в анализе естественно-языковых текстов	163
<i>В.Б. Бетелин.</i> О ключевой роли фундаментальной науки в стратегии научно-технологического развития Российской Федерации	165
<i>К.В. Рудаков.</i> О роли РАН в постановке и решении задач искусственного интеллекта	170
<i>В.В. Устинов.</i> Спинтроника и перспективы создания на ее основе элементной базы современной электроники.....	171

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Связанность территории российской федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики».....	185
<i>Д.Н. Кобылкин.</i> Выступление Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации	186
<i>М.А. Погосян.</i> Доклад председателя Совета по приоритету: Приоритетные научно-технические задачи в обеспечении связанности территории Российской Федерации	188
<i>В.А. Соловьев, А.А. Коваленко, С.В. Соловьев.</i> Приоритетные научно-технические задачи в сфере освоения и эффективного использования космического пространства	195
<i>В.Г. Бондур, А.А. Лутовинов.</i> Обеспечение информационной связанности территории России за счет использования систем дистанционного зондирования Земли	205
<i>Г.Г. Матишов.</i> Приоритетные проблемы и задачи в освоении и использовании ресурсов Мирового океана, Арктики и Антарктики. Водные биоресурсы	233
<i>Н.С. Бортников.</i> Минеральные ресурсы Мирового океана: успехи и проблемы в освоении	237
<i>В.Д. Каминский.</i> Приоритетные проблемы и задачи освоения и использования углеводородных ресурсов Северного Ледовитого океана	244
<i>И.Н. Розенберг.</i> Современные подходы к использованию ГИС в задачах цифровизации железнодорожного транспорта	248

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов, прежде всего антибактериальных»	256
<i>С.А. Краевой.</i> Перспективные направления развития отечественного здравоохранения	257

<i>М.В. Ковальчук О.С. Нарайкин, Е.Б. Яцишина.</i> Природоподобные технологии – новые возможности и новые вызовы	261
<i>Д.Ю. Пушкарь.</i> Робот-ассистированная хирургия	278
<i>Д.В. Морозов.</i> Генетические технологии для медицины – потребности общества и бизнеса	286
<i>П.М. Чумаков.</i> Обеспечат ли онколитические вирусы революцию в онкологии?	291
<i>И.И. Дедов.</i> Самое эффективное лекарство во все времена: СЛОВО ВРАЧА	297
<i>Г.Т. Сухих.</i> Выступление по тематике приоритета	299
<i>Е.Л. Чойнзонов.</i> О Межведомственном совете при Минздраве России	300
<i>Ю.В. Гуляев.</i> Пути внедрения маммографа	301

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства»	302
<i>В.П. Чехонин.</i> Вступительное слово председателя совета по приоритету	303
<i>С.А. Краевой.</i> О противостоянии угрозам биологического характера	305
<i>В.Н. Даниленко.</i> Разработка технологической платформы для создания инновационных противотуберкулезных препаратов, активных в отношении штаммов с множественной лекарственной устойчивостью	307
<i>В.Г. Акимкин.</i> Эпидемиологическая значимость резистентности возбудителя туберкулеза к антибиотикам и перспективы диагностики	313
<i>А.А. Кокошин.</i> Искусственный интеллект и некоторые вопросы обеспечения безопасности	317
<i>В.Ю. Опанасенко.</i> О разработке специализированных графических ускорителей	320
<i>С.Д. Варфоломеев, С.М. Ломакин, П.А. Сахаров, А.В. Хватов</i>	321
Эффективные химические методы управления горением. Новые угрозы и новые решения	321
<i>С.М. Фролов, С.А. Набатников.</i> Новые технологии на основе управляемого детонационного горения	331
<i>А.Б. Сивенков.</i> Огнезащита строительных материалов и конструкций. Проблемы и перспективы	339

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук»	343
<i>А.А. Дынкин.</i> Доклад председателя совета по приоритету: Социально-гуманитарное измерение ответов на большие вызовы	344
<i>В.В. Наумкин.</i> Причины возникновения и пути урегулирования этнополитических конфликтов	350
<i>Ф.Г. Войтоловский.</i> Трансформация внешних условий обеспечения национальной безопасности России	355
<i>Б.Н. Порфирьев.</i> Экономическое измерение климатического вызова устойчивому развитию России	361
<i>В.А. Тишков.</i> Российская идентичность и общенациональное единство: внутренние и внешние вызовы	376

<i>А.Е. Суринов.</i> О взаимодействии Федеральной службы государственной статистики и РАН	381
<i>В.Я. Белокреницкий.</i> Этнополитические конфликты и пути их решения	383
<i>И.С. Семенов.</i> О восприятии вызовов в социальных процессах.....	385
<i>И.Д. Звягельская.</i> О проблеме урегулирования современных конфликтов	387

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания».....

<i>А.П. Майоров.</i> Приветственное слово от имени Председателя Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации	389
<i>И.М. Донник.</i> Вступительное слово председателя совета по приоритету: Прорывные агротехнологии – фактор развития Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации	390
<i>А.Л. Иванов.</i> Научно-технологическое развитие цифрового землепользования в Российской Федерации. Государственное регулирование.....	396
<i>Е.С. Савченко.</i> Выступление губернатора Белгородской области по тематике приоритета.....	402
<i>И.В. Савченко.</i> Ресурсосберегающее экологическое чистое растениеводство для получения продукции высокого качества.....	404
<i>В.В. Калашиников.</i> Высокопродуктивное животноводство и аквакультура с заданными показателями качества продукции.....	412
<i>А.Ю. Измайлов.</i> Интеллектуальные технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства	423
<i>А.Г. Галстян, Л.М. Аксенова, А.Б. Лисицын, Л.А. Оганесянц, А.Н. Петров.</i> Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов	430
<i>А.В. Никитин.</i> Высокопродуктивное животноводство и аквакультура с заданными показателями качества продукции.....	440
<i>В.А. Семенов.</i> Опыт цифровой платформы сбыта сельскохозяйственной продукции.....	444
<i>С.Д. Каракотов.</i> Экологизация систем химической и биологической защиты растений как основа ресурсосберегающего земледелия	446
<i>И.П. Биленкина.</i> О роли науки в сельском хозяйстве	452

Постановление Общего собрания членов Российской академии наук от 14.11.2018 г. № 42 «О научной сессии общего собрания членов РАН «Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации»	453
---	-----

Вступительное слово Президента РАН академика РАН Сергеева А.М.

Уважаемые участники и гости Общего собрания членов Российской академии наук!

Наше собрание посвящено развертыванию работ по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, которая была принята в декабре 2016 г. К настоящему времени завершился этап формирования инструментов для ее реализации. Российской академии наук отводится большая роль в таком важном деле. Это не только подготовка и выполнение программ фундаментальных исследований, но также и формирование комплексных научно-технических проектов и программ полного инновационного цикла – от проведения фундаментальных, поисковых и прикладных исследований до разработок конкретных технологий, продуктов и их внедрения в реальный сектор экономики.

В соответствии с Указом Президента РФ и постановлением Правительства РФ сформирован Координационный совет по реализации Стратегии и создано семь советов по приоритетам, которые возглавляют члены РАН. Сегодня и завтра в рамках Научной сессии Общего собрания членов РАН мы будем обсуждать первые предложения, которые советы по приоритетам сформулировали и вынесут на наше обсуждение. В обсуждении будут принимать участие не только члены РАН, но также и представители министерств, ведомств, госкорпораций, крупных компаний, которые готовы стать заказчиками соответствующих проектов и программ.

От нашей с вами работы в значительной степени зависит то, как быстро Россия встанет на путь инновационного развития и как скоро мы преодолеем наше технологическое отставание от стран – экономических лидеров-локомотивов современного научно-технического прогресса.

Надо сказать, что у нас очень серьезные задачи, серьезные проблемы. У нас в стране нет избытка в трудовых и финансовых ресурсах, да и геополитическая ситуация тоже не располагает к тому, чтобы мы заимствовали знания и технологии из-за рубежа. Поэтому мы должны понимать, что многократно возрастает роль наших главных богатств – интеллекта и креативности нации, носителями которых всегда была Российская академия наук.

Сейчас мы с вами живем под знаком двух очень важных событий, которые произошли после нашего Общего собрания, прошедшего в марте 2018 года. Во-первых, это майский Указ Президента Российской Федерации с формулировкой 12 новых национальных проектов, среди которых Национальный проект «Наука». Во-вторых, это принятие закона о корректировке 253-го Федерального Закона, который не только в значительной степени расширяет полномочия, но и повышает ответственность Российской академии наук в научно-исследовательском секторе страны. Оба этих события, безусловно, связаны с программой Научной сессии нашего сегодняшнего Общего собрания.

Те задачи, которые сформулированы в майском Указе Президента Российской Федерации, очень амбициозны. Например, что касается Национального проекта «Наука», то одной из его целей является достижение опережающего финансирования научно-исследовательского сектора страны по сравнению с ростом ВВП из всех источников финансирования. Если посмотреть в эту формулировку, то, можно сразу увидеть, что это напрямую связано с темой Научной сессии Общего собрания, которую мы сегодня обозначили.

Если говорить о тех корректировках Федерального закона 253-ФЗ, которые касаются полномочий Российской академии наук, то я обращаю внимание на одну из новых функций, которая поручена нам. Это вопросы, связанные с прогнозированием основных направлений научного, научно-технического и социально-экономического развития страны. То, что сегодня и завтра мы будем обсуждать, это и должно стать основой такого прогнозирования.

Уважаемые коллеги! На нас сейчас возложена очень серьезная ответственность. От нашей работы в значительной степени будет зависеть и то, насколько быстро Россия будет превращаться в страну экономического лидерства на базе научно-технологического прогресса.

Но мы должны понимать также, что успешное выполнение поставленных задач будет способствовать тому, чтобы влияние Российской академии наук в нашем обществе возросло, чтобы мы с вами, как можно скорее, вернули Российскую академию наук на те важные позиции в нашем обществе, которые она занимала в XX веке. Я очень надеюсь, что мы вместе с вами, начав активную работу по реализации Стратегии, добьемся этого быстро.

Я приветствую всех участников и гостей Общего собрания членов РАН и желаю всем нам плодотворной работы!

**Выступление заместителя Председателя Правительства
Российской Федерации
Голиковой Т.А.**

Добрый день, уважаемые коллеги!

Прежде чем приступить к своему выступлению, я бы хотела озвучить приветственное слово Председателя Правительства Российской Федерации участникам Общего собрания Российской академии наук.

«Уважаемые друзья!

Приветствую вас на Общем собрании членов Российской академии наук.

Российская академия наук ведёт своё начало ещё с петровских времён. Пётр Первый считал применение передовых знаний на практике задачей государственного масштаба, основным условием успеха своих реформ. Какой бы ни была эпоха, интеллект всегда оставался движущей силой главных преобразований в стране.

Сегодня Академия пользуется заслуженным уважением во всём мире как высшая научная организация России. Вы активно участвуете в решении многих ключевых задач, стоящих перед страной. В ближайшие годы Россия должна войти в пятёрку ведущих государств, которые проводят исследования и осуществляют разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития. Важно, что именно члены Российской академии наук возглавляют советы по всем приоритетным направлениям. От вашей работы зависит реализация национальных проектов в науке, образовании, здравоохранении, сельском хозяйстве и многих других областях. А значит – будущее нашей страны, рост её экономики, поддержка социальной сферы, конкурентоспособность в мире.

В ходе обсуждения вам предстоит подробно рассмотреть, как ведётся эта работа. Конечно, простых задач в науке не бывает. Но я уверен, что российским учёным под силу их решить.

Желаю вам интересных дискуссий, успехов и всего наилучшего.

*Председатель Правительства Российской Федерации
Дмитрий Анатольевич Медведев».*

А теперь позвольте мне сказать несколько слов. Нам с вами предстоит достаточно серьёзная работа по реализации Стратегии научно-технологического развития страны, которой сегодня посвящено Общее собрание членов Российской академии наук, а также по реализации национального проекта «Наука», о котором уже упоминал Александр Михайлович Сергеев в своем вступительном слове.

Еще раз напомним, что Президент России своим Указом от 1 декабря 2016 года № 642 утвердил Стратегию научно-технологического развития

Российской Федерации до 2025 года. В этом документе определены цели научно-технологического развития нашей страны, задачи, принципы, приоритеты, основные направления и меры реализации государственной политики в этой области, а также основные ожидаемые результаты.

Несмотря на то, что Россия исторически является одним из лидеров среди мировых научных держав, современный этап развития науки может характеризоваться как наличием наших конкурентных преимуществ, так и перечнем нерешённых на данный момент проблем, препятствующих научно-технологическому развитию страны.

Ключевыми среди них являются проблемы актуальности проводимых научных исследований, дифференциации научных и образовательных центров по результативности и эффективности работы, концентрация исследовательского потенциала лишь в нескольких регионах страны, отток молодых научных кадров, слабая восприимчивость экономики к инновационному развитию и к инновациям. Эти проблемы создают высокие риски постепенного отставания России от стран – мировых технологических лидеров и обесценивания внутренних инвестиций в сферу науки и технологий.

Негативная тенденция в развитии научного потенциала страны создает риски и в области обеспечения национальной безопасности нашего государства. Поэтому Президент России определил научно-технологическое развитие в качестве одного из приоритетов государственной политики. При этом наши усилия должны быть сконцентрированы на тех направлениях, которые позволяют получить новые научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке.

В рамках поставленной Президентом задачи Правительством совместно с экспертным сообществом и общественными организациями, а также Российской академией наук был подготовлен национальный проект «Наука», основная цель которого – обеспечение прорывного развития российской науки и подтверждение её лидирующих позиций в мировой научной среде. Проект был одобрен Президентом страны 24 октября 2018 года на Совете по стратегическому развитию и национальным проектам.

На каких же ключевых направлениях национального проекта «Наука» предстоит сосредоточиться? Их три, и каждый из них будет реализовываться в рамках соответствующего федерального проекта, а у каждого федерального проекта будет перечень мероприятий, который нам с вами еще необходимо выработать.

Какие это основные направления? Это:

- развитие научной и научно-производственной кооперации;
- развитие передовой инфраструктуры и проведение исследований;
- развитие кадрового потенциала.

В Национальном проекте «Наука» определены ключевые показатели, на которые российская наука должна выйти к 2024 году. Прежде всего мы должны войти в пятерку стран по удельному весу научных статей,

опубликованных в ведущих мировых научных изданиях, и пятерку стран по количеству заявок на получение патентов и изобретений.

Нам предстоит также сохранить за собой высокое – четвертое место по количеству исследователей, при этом увеличив долю молодых исследователей в возрасте до 39 лет, до 50,1%.

Работа в России должна стать привлекательной не только для российских, но и для зарубежных ведущих ученых и молодых перспективных исследователей.

Результатом реализации национального проекта «Наука» должно стать двукратное увеличение внутренних затрат на исследования и разработки к 2024 году. Увеличение этого показателя в целом за счет всех источников финансирования должно быть доведено до 1,8 триллиона рублей в год.

Необходимо отметить, что показатели национального проекта взаимосвязаны с национальными целями развития Российской Федерации на период до 2024 года, которые установлены майским Указом Президента. Достижение плановых значений показателей национального проекта – это необходимое условие определенных Стратегий научно-технологического развития, которое вы сегодня будете обсуждать.

Не стану останавливаться подробно на отдельных мероприятиях национального проекта «Наука». Вам, безусловно, они известны, так как документ публичный. Но пока он публичный только по верхним показателям, поскольку весь состав мероприятий, который предстоит реализовывать в предстоящие шесть лет, нам еще нужно с вами обсудить, конкретизировать и напротив каждого мероприятия поставить те результаты, которые предстоит достигнуть. Я хочу сказать, что сейчас эта работа идет полным ходом. Мною дано соответствующее протокольное поручение. И уже скоро мы перейдем ко второму этапу обсуждения более конкретных мероприятий, которые предстоит утвердить до конца 2018 года.

Остановлюсь также и на том, что предпринимается Правительством для достижения тех целей, которые мы перед собой ставим.

Во-первых, принято решение, что для обеспечения эффективности реализации Национального проекта «Наука» управление этим проектом будет осуществляться в соответствии с лучшими практиками на основе принципов проектного управления. В этой связи в Правительстве были созданы все проектные инструменты, в том числе проектный офис с участием представителей Правительства, ключевых министерств, ведомств, научных и общественных организаций.

Во-вторых, обеспечена координация действий Федерального центра и органов региональной власти. При подготовке заседания Государственного совета рабочей группой были рассмотрены предложения по основным направлениям деятельности органов исполнительной власти регионов в процессе реализации национальных проектов, в том числе национального проекта «Наука». По итогам работы рабочей группы будет подготовлен соответствующий доклад Президенту страны на заседании Государственного совета.

В-третьих, принято решение о выделении значительных финансовых ресурсов на реализацию национального проекта «Наука». Это порядка 635 млрд. рублей, из которых 404 млрд. рублей – средства Федерального бюджета. Мы не называем сейчас точную цифру, потому что бюджет находится в стадии утверждения.

Необходимо отметить, что Российской академии наук отводится одна из ключевых ролей в реализации поставленных задач. В июле текущего года, как уже было отмечено вначале, в Федеральный закон «О Российской академии наук» были внесены важные изменения, расширяющие ее функции и полномочия. В частности, были внесены изменения в части назначения исполняющих обязанности руководителей и прекращения полномочий руководителей научных организаций, реорганизации и ликвидации научных организаций, внесения изменений в уставы. Расширены цели деятельности Академии. К ним отнесено прогнозирование основных направлений научного, научно-технического, социально-экономического развития России, а также научно-методическое руководство научной и научно-технической деятельностью научных и образовательных организаций высшего образования.

В состав задач, решаемых Академией, включены задачи проведения фундаментальных и поисковых научных исследований в России на долгосрочный период, в том числе в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обеспечения обороны и безопасности государства.

В соответствии с Уставом Российской академии наук даны полномочия по осуществлению экспертизы научно-технологических программ, проектов, мониторинговой оценки результатов деятельности государственных научных организаций, а также научно-технических результатов, созданных за счет средств федерального бюджета. Вы участвуете в нормотворческой деятельности, осуществляете мониторинг состояния фундаментальных наук, даете рекомендации по необходимым объемам бюджетного финансирования научных проектов.

Фактически сегодня Российская академия наук – это и методический, и экспертный орган страны в научно-технической сфере.

В рамках существующих полномочий в 2016-2017 гг. Академией было подготовлено более девяти тысяч экспертных заключений, определивших качество и потенциал проведенных научных исследований. Из всех прошедших экспертизу результатов исследований по большинству показателей – актуальности, научному потенциалу, качеству, ожидаемому эффекту 35% проанализированных результатов соответствовали научному уровню и масштабу применимости для Российской Федерации, а 31% результатов находится на мировом уровне или превышает его. Но должна сказать, что есть 8% результатов исследований, которые оказались ниже уровня Российской Федерации, то есть фактически неэффективно истраченными ресурсами.

Учитывая стоящие перед страной вызовы, такая структура нас с вами не должна устраивать.

Статистические данные о состоянии науки в России говорят о следующем.

С 2014 года наблюдается рост внутренних затрат на исследования и разработки. Об этом мы уже говорили. Но хочу обратить ваше внимание на то, что это триллион рублей, а к концу 2024 года, как я уже сказала, предстоит практически удвоить эту цифру: она должна составить 1,8 триллиона рублей. Это существенные усилия не только государственной власти, но и бизнеса.

Увеличивается число использования охраняемых результатов интеллектуальной деятельности – свыше 32 тысяч единиц. По ряду инновационных значимых в промышленности технологий наблюдается увеличение числа исследований. К таким технологиям относятся: создание энергосберегающих систем (13%), ракетно-космическая и транспортная техника нового поколения (44%), а по базовым технологиям силовой электротехники наблюдается практически двукратный рост.

В целом по отраслям науки рост числа исследований зафиксирован в основном, к сожалению (а может быть, к счастью для кого-то), по гуманитарным наукам. Это педагогика, социология, политика, культура, искусство, изучение стран и регионов. Есть и естественные науки с положительной динамикой, например – геофизика, сельское и лесное хозяйство.

В то же время обращаю ваше внимание (это цифры, которые мы получили вчера из информационной системы, отслеживающей научные исследования), что в 2016-2017 гг. наблюдается снижение количества исследований, в том числе: по клеточным технологиям – 37%; биоинженерии – 30%; диагностике наноматериалов и наноустройств – 30%; высокопроизводительным вычислительным системам – 32%; геномным технологиям – 32%. К подобным отраслям на сегодняшний день по статистике относятся даже физика, математика, биология, геология, горное дело и автоматика.

Мне кажется, что эти цифры должны вас не просто удивить. Они должны вас насторожить. Это значит, что мы категорически должны менять то, что у нас сегодня происходит.

Конечно, с учетом тех направлений, которые сейчас обозначены, эту ситуацию некоторым образом поменяет Национальный проект «Наука». Но этого недостаточно.

Мы должны очень быстрыми шагами двигаться в рамках той Стратегии, которая утверждена Президентом Российской Федерации. Но, кроме этого, необходимо посмотреть и на структуру научных работ научных организаций: отвечают ли они сегодня тем стратегическим приоритетам, которые стоят не только перед Российской академией наук, не только перед Правительством, но и перед всей страной для того, чтобы решить те глобальные задачи, которые сегодня поставлены Президентом страны.

Я хочу сказать, что это не просто задача Российской академии наук или ее институтов. Это наша совместная задача. Мы должны распространить положительную динамику развития ряда отраслей науки на все научные направления, поднять эффективность и результативность проводимых научных исследований, провести инвентаризацию результатов уже проведенных НИОКР и их вовлечение в экономический оборот. Это важно, так

как статистика показывает, что во многих институтах такие работы имеются, но тем не менее до конечной стадии они не доходят.

Как уже было отмечено, Минобрнауки России вместе с Российской академией наук сформировано семь Советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации. В настоящее время эти Советы приступили к формированию научных, научно-технических и инновационных проектов по приоритетным направлениям.

Возглавляют данные советы академики Российской академии наук. Это еще раз подчеркивает ключевую роль Академии в реализации поставленных задач.

В ближайшее время предстоит огромная совместная работа Российской академии наук и Министерства науки и высшего образования по отбору и формированию наиболее перспективных комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла от фундаментальных разработок до практического использования результатов по приоритетам научно-технологического развития с целью поддержки их дальнейшей реализации и развития.

В настоящее время приоритетной является задача определения порядка взаимодействия Российской академии наук и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также правил осуществления РАН методического руководства научной и научно-технической деятельностью научных организаций. Правительство Российской Федерации готово активно содействовать этой работе.

Реализация тесного оперативного сотрудничества Правительства Российской Федерации и Российской академии наук позволит также производить мониторинг ключевых результатов научной и научно-технической деятельности, основываясь на объективных сведениях, создавая тем самым условия для адресного планирования инструментов, в том числе и финансовой поддержки.

Сегодняшнее Общее собрание посвящено, как еще раз хочется отметить, вопросу определения роли Российской академии наук в реализации Стратегии научно-технологического развития России.

В соответствующих научных сессиях принимают участие как ведущие академики, эксперты, так и руководители федеральных органов исполнительной власти.

Уверена, что по результатам этой работы нам с вами удастся использовать накопленный положительный опыт, организовать работу так, чтобы качественно улучшить ситуацию в российской науке и сделать ее современной и конкурентоспособной.

Спасибо вам, уважаемые коллеги, за терпение, за внимание.

Я хочу, чтобы результаты проходящей в эти дни Научной сессии Общего собрания членов РАН внесли свой вклад в развитие тех направлений, которые станут приоритетными для научно-технологического развития нашей страны на ближайшую, средне- и долгосрочную перспективу.

Спасибо и успехов всем вам!

**Выступление первого заместителя министра науки
и высшего образования Российской Федерации
академика РАН Трубникова Г.В.**

Уважаемый Александр Михайлович! Уважаемая Татьяна Алексеевна!
Уважаемые участники Общего собрания членов Российской академии наук!

От имени Министерства науки и высшего образования и по поручению министра, который очень хотел быть вместе с нами, но, к сожалению, вынужден был уехать в командировку с Президентом страны, разрешите приветствовать Общее собрание Российской академии наук и всю научную общественность Российской Федерации с началом сегодняшней работы.

Разрешите сделать короткое выступление от имени Министерства, обозначив основные акценты нашей совместной работы.

Развитие сферы науки и высшего образования в Российской Федерации является важнейшим инструментом для устойчивого, динамичного роста экономики страны, обеспечения ее работоспособности и национальной безопасности.

В Указе Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации до 2024 г.» национальный проект «Наука», наряду с национальным проектом «Образование», обозначены как необходимая важнейшая составляющая достижения национальных целей развития страны на период до 2024 г.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации Национальный проект «Наука» подготовлен Министерством науки и высшего образования при активном и самом непосредственном участии Российской академии наук. Александр Михайлович и Татьяна Алексеевна в своих выступлениях отмечали, что цели, поставленные в национальном проекте «Наука» и в Указе Президента Российской Федерации, очень амбициозны. Мы должны обеспечить: присутствие Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития; обеспечить привлекательность работы в нашей стране для российских и зарубежных ведущих ученых, а также молодых перспективных исследователей; обеспечить опережающее увеличение внутренних затрат на научные исследования и разработки за счет всех источников по сравнению с ростом ВВП страны.

В соответствии с национальным проектом «Образование» в части высшего образования нам предстоит работать над обеспечением глобальной конкурентоспособности российского образования и входением Российской Федерации в число десяти ведущих стран мира по качеству высшего образования.

При этом успешная реализация национальных проектов «Наука» и «Образование» должна существенно повлиять на достижение национальных целей, определенных в Указе Президента:

- входение России в число пяти крупнейших экономик мира;

- обеспечение темпов экономического роста выше мировых;
- ускорение технологического развития Российской Федерации;
- увеличение количества организаций, осуществляющих технологические новации до 50 процентов от их общего числа;
- создание в базовых отраслях экономики, прежде всего в обрабатывающей промышленности и агропромышленном комплексе, высокопроизводительного экспортно ориентированного сектора, развивающегося на основе современных технологий;
- обеспечение высококвалифицированными кадрами.

Реализация национального проекта «Наука», конечно, должна стать системообразующей основой, способствующей реализации других национальных проектов в части научного обеспечения задач, стоящих не только перед Российской Федерацией в целом, но также и отдельных задач технологического развития, актуальных для конкретных субъектов Российской Федерации в рамках реализации Стратегии пространственного развития страны.

Для нас очевидно, что достижение этих целей возможно исключительно за счет тесного взаимодействия всех участников научно-технологической сферы Российской Федерации. В этой связи роль Российской академии наук представляется исключительно важной для обеспечения целостности и единства научно-технологического развития нашего государства.

В рамках реализации мероприятий национального проекта «Наука» нам предстоит решить большой перечень задач, связанных с приоритизацией направлений научных исследований как в фундаментальных областях, так и в сфере прикладных разработок.

С удовольствием хочу отметить, что на этапе подготовки мероприятий национального проекта «Наука» Российская академия наук провела серьезную работу по обеспечению взаимной увязки положений нацпроекта со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации. Силами Академии наук был подготовлен перечень из 127 приоритетных направлений научно-технологического развития, который напрямую отражает приоритеты Стратегии. Мы видим необходимость продолжения этой совместной работы на всех последующих этапах реализации национального проекта «Наука».

В рамках исполнения плана реализации Стратегии на базе Российской академии наук развернуты и приступили к работе Советы по приоритетным направлениям научно-технологического развития. Возглавляют эти советы ведущие члены РАН.

Тем самым можно констатировать, что действительно сформированы площадки, на которых стало возможным координировать усилия не только фундаментальной науки, но и всех отраслей исследований и разработок, проводимых представителями крупной индустрии и представителями федеральных органов исполнительной власти, а также координировать усилия по ответам на «большие вызовы», стоящие перед нашим государством.

Реализация Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации и нацпроекта «Наука», конечно, требует изменения в системе

управления всей научно-технологической сферой и повышения эффективности труда исследователей.

В рамках развития инструментов стратегического планирования в научно-технической сфере Министерством подготовлен проект постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении новой Государственной программы научно-технологического развития», которая, согласно поручению Правительства, должна консолидировать все расходы на гражданскую науку в единой программе. Это абсолютно межведомственная Государственная программа. Кроме того, в новую Государственную программу добавлен большой блок, связанный с высшим образованием.

Мы считаем, что новая Государственная программа действительно должна обеспечить возможность решения задач для достижения целей, определенных Стратегией и нацпроектом «Наука».

В новой Государственной программе мы вместе с РАН постарались сбалансировать инструменты государственной поддержки всех стадий жизненного цикла от генерации знаний до внедрения инновации. Необходимо сконцентрировать интеллектуальные, инфраструктурные и финансовые ресурсы на реализацию комплексных программ и проектов; сфокусироваться на формировании главного ресурса научно-технологического развития - квалифицированных исследователей, инженеров и технических предпринимателей, на поддержке их профессионального роста и создания возможностей для реализации талантов.

Позвольте отдельно остановиться на взаимодействии Министерства науки и высшего образования и Российской академии наук по реализации первого этапа Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Российская академия наук активно участвует в выполнении плана реализации Стратегии, координация исполнения которого возложена на Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Кроме отмеченного мною формирования Советов по приоритетным направлениям, при непосредственном участии Российской академии наук в настоящее время разработан проект новой Программы научно-технологического развития Российской Федерации, о которой я уже сказал.

Напомню, что в рамках новой Государственной программы должна быть разработана и утверждена Программа фундаментальных исследований, сформированная в соответствии с «большими вызовами» и включающая механизмы их корректировки. И это задача, прежде всего, Российской академии наук. Мы надеемся на активную позицию Академии в этом вопросе.

Минобрнауки России в рамках исполнения плана реализации Стратегии разработан проект распоряжения Правительства Российской Федерации об утверждении целевых показателей реализации Стратегии научно-технологического развития. Здесь мы также совместно проделали большую работу вместе с Российской академией наук. Этот документ неоднократно обсуждался на площадке Академии. В настоящее время он проходит в установленном порядке согласование и внесен в Правительство Российской Федерации.

Одним из основных инструментов реализации Стратегии является переход от разрозненных и дублирующих научных исследований к комплексным научно-техническим программам. В этой связи в рамках плана реализации Стратегии Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в Правительство Российской Федерации внесен проект постановления, утверждающий правила разработки и реализации комплексных научно-технических программ.

С целью усиления роли репутационных механизмов в признании научной квалификации и заслуг исследователей, повышения авторитета ученых в обществе Академией наук реализуется методика оценки результативности деятельности научных организаций на основе независимой экспертизы.

В рамках пилотного проекта была проведена работа по экспертизе свыше 10 тысяч научно-исследовательских работ, представленных научными организациями, дополненная результатами анализа наукометрических показателей публикационной активности. Результаты проведенной оценки легли в основу методики формирования планов научно-исследовательских работ на 2019 год и плановый период 2020-2021 годов.

Важная часть реализации Стратегии – это формирование модели международного научно-технического сотрудничества и международной интеграции в области исследований и технологического развития. И в этом ключе при активном содействии Российской академии наук разработана концепция международного научно-технического сотрудничества, которая определяет и конкретизирует цели, механизмы функционирования и формы оптимальной организации международного научно-технического сотрудничества как системного фактора научно-технологического развития России.

Также в этом разделе Плана реализации Стратегии за Российской академией наук закреплено такое важное мероприятие, как развитие механизмов научной дипломатии. В рамках реализации этого мероприятия Российской академией наук разработана «дорожная карта» развития научной дипломатии, которая предусматривает повышение квалификации и обмена опытом по организации международного сотрудничества в сфере науки, технологий и инноваций. По этому мероприятию предусмотрена ежегодная отчетность перед Правительством Российской Федерации. Я бы хотел напомнить, что эта отчетность наступает уже через несколько недель. Прошу сконцентрировать усилия на реализации этого поручения.

Одной из задач первого этапа реализации Стратегии является формирование целостной системы устойчивого воспроизводства и привлечения кадров для научно-технологического развития страны.

Для решения данного вопроса Российской академией наук предстоит провести корректировку стратегических документов институтов развития России, осуществляющих поддержку научной, научно-технической и инновационной деятельности, предполагающих закрепление ответственности за реализацию конкретных целей, задач и приоритетов Стратегии.

Наконец, одной из основополагающих законодательных инициатив в сфере науки является, конечно, проект Федерального закона «О научной,

научно-технической и инновационной деятельности в Российской Федерации». Законопроект последние почти два года активно обсуждается, в том числе с участием Российской академии наук, Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, Комитета Государственной Думы по образованию и науке и региональных органов законодательной власти.

В настоящее время этот законопроект дорабатывается министерством в части уточнения ряда его концептуальных положений, в том числе с учетом майского указа Президента Российской Федерации. И, конечно, в законопроекте должны найти отражение задачи нормативного регулирования процесса взаимодействия всех организаций, вовлечённых в сферу деятельности по научным исследованиям и разработкам. Этот закон должен стать межведомственным, объединить и консолидировать усилия всех отраслей нашей экономики, которые участвуют в сфере научно-технологического развития страны. Внесение законопроекта требует одновременно внесения изменений во множество федеральных законов. Подготовка таких комплексных изменений потребует повторного обсуждения всего пакета. Мы надеемся внести законопроект в Правительство Российской Федерации в 2019 году. Потребуется изменения, как минимум, в Гражданский кодекс, Трудовой кодекс, Бюджетный кодекс Российской Федерации и около 20-ти основополагающих федеральных законов.

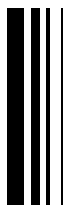
Мы представили совместные предложения, разработанные Минобрнауки России, Российской академией наук и субъектами Российской Федерации, в доклад рабочей группы Государственного совета Российской Федерации по направлению «Наука», которые отражают основные региональные аспекты реализации национального проекта «Наука». Особый акцент в представленных предложениях сделан на роли субъектов Российской Федерации в консолидации с федеральными органами государственной власти, научно-образовательным и предпринимательским сообществом по созданию благоприятных условий для применения достижений науки и для обеспечения целостности и единства научно-технологического развития страны.

В заключение я хочу добавить, что мы действительно очень большое внимание уделяем проходящему сейчас Общему собранию членов РАН. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации и, я уверен, вся научная общественность, возлагают большие надежды на те решения, которые Общее собрание вынесет после обсуждения приоритетов исследований и разработок, которые представят Советы по приоритетным направлениям исследований.

Научная общественность, да и Российская академия наук, я уверен, скучали, истосковались по такому формату Общего собрания, где сегодня нас ожидает действительно мозговой штурм по самым приоритетным направлениям исследований, важных для нашего государства.

Я желаю успехов и плодотворной работы вашему собранию.

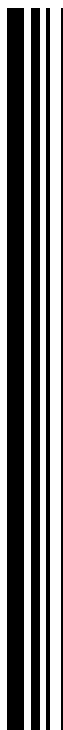
Спасибо.



П Р И О Р И Т Е Т

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии»



Председатель Совета по приоритету –
академик РАН ФОРТОВ В.Е.

В.Е. Фортгов¹

Вступительное слово председателя совета по приоритету:

О вызовах и приоритетах научно-технологического развития энергетики России

Когда готовилась и принималась Стратегия научно-технологического развития страны, энергетика была сразу же включена в число безусловных приоритетов.

Тому было, по крайней мере, две причины.

Во-первых, энергетика является ведущей отраслью экономики России. На долю топливно-энергетического комплекса страны приходится 22% ВВП, 60% нашего экспорта и 40% дохода федерального бюджета. Мы обладаем значительными энергоресурсами – на одного жителя России приходится в 10 раз больше энергоресурсов, чем в среднем на одного жителя мира.

Мы, вместе с США и Саудовской Аравией уверенно лидируем в мире по объемам добычи нефти. Россия находится на втором месте по добыче газа, (немногим уступая США), занимает четвертое место (вместе с Японией) по объему выработки электроэнергии, (уступая Китаю, США и Индии), находится в первой четверке стран по добыче угля, также следуя за Китаем, Индией и США (см. рис. 1).

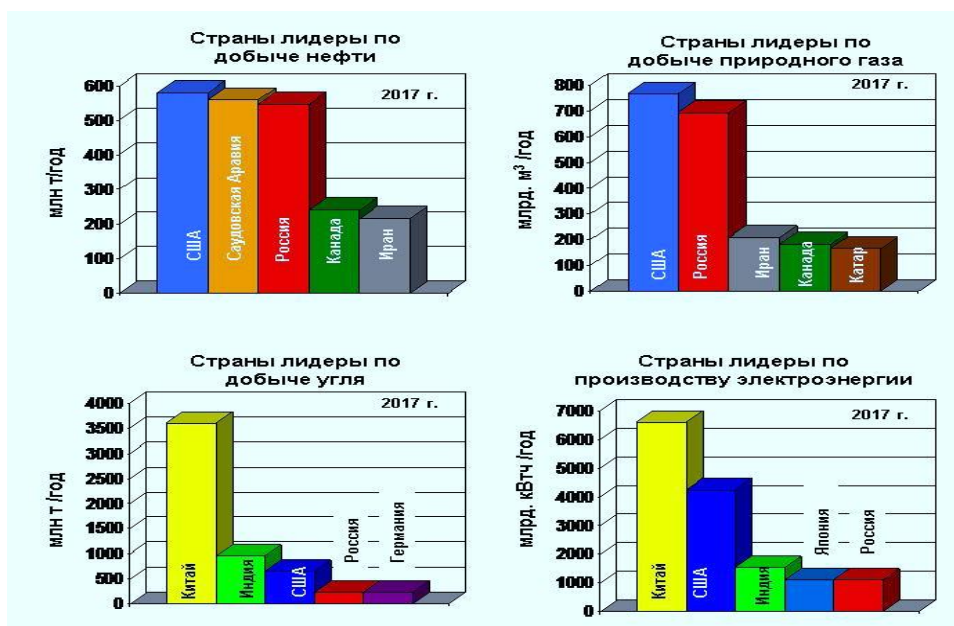


Рис. 1. Страны-лидеры по добыче органических топлив и по производству электроэнергии

¹ Академик-секретарь Отделения энергетики, механики, машиностроения и процессов управления РАН, академик РАН

Однако усложнение рыночной конъюнктуры последних лет и искусственные внешнеполитические ограничения являются сегодня серьезным вызовом для нашей энергетики, как важнейшей отрасли экономики страны.

Второй глобальный энергетический вызов для нас связан с базисным характером энергетики, являющейся технической базисом экономики не только нашей страны, но и всей современной цивилизации.

Хорошо известно, что получение, преобразование и передача энергии всегда были приоритетными областями исследований и разработок в нашей стране. У нас всегда было четкое понимание того, что без опережающего развития энергетики невозможен прогресс всех иных видов человеческой деятельности. Это понимание привело к тому, что в СССР в короткие сроки была создана энергетическая отрасль первоклассного уровня, опирающаяся на широкую сеть НИИ, ВУЗов, КБ, предприятий, укомплектованных учеными и специалистами мирового класса. Многие из них были членами Академии наук или в ней успешно работали. Многие достижения в энергетике были нами сделаны впервые в мире еще в Советском Союзе и без всякой помощи извне. Это:

- крупнейшие в мире гидроэлектростанции;
- первые 100 мегаваттные газовые турбины;
- линии электропередач напряжением 0,4-110 кВ рекордной протяженностью более 2,5 млн. км, а напряжением 110-500 кВ общей протяженностью более 25 тыс. км;
- первые крупные электрические станции с комбинированным производством электроэнергии и тепла;
- электрогенераторы рекордной гигаваттной мощности;
- первая в мире атомная ЭС;
- крупнейшая ветростанция с мощностью 100 кВт и многое другое, что наши зарубежные коллеги сумели повторить только многие годы спустя.

Это позволило энергетике страны успешно парировать острейшие вызовы типа индустриализации, Великой Отечественной войны, восстановительного периода, и особенно – современной перестройки с ее радикальной сменой общественно-экономической формации.

Последний перестроечный вызов оказался для нашей энергетики особенно сложным, драматическим и болезненным. Принятые тогда волонтаристские политические решения о замораживании тарифов лишило нашу энергетику ресурсов для развития и было настоящим шоковым «терапевтическим» ударом, последствия которого мы ощущаем до сих пор. Можно сказать, что в то время энергетика, по существу, бесплатно дотировала перестраивающуюся экономику всей страны. В то время, как сама энергетика стагнировала – развивалась более чем скромными темпами (вводы новых генерирующих мощностей на уровне ~ 1 ГВт в год вместо необходимых 7-10 ГВт), прогрессивно отставая от мирового уровня и теряя некогда передовые мировые позиции.

И если драматизм и опасность этой ситуации сегодня не очень рельефно ощущается нами, так это потому, что стагнация электроэнергетики происходит на фоне почти нулевого или «отрицательного роста» ВВП всей страны. При этом очевидно, что ожидаемый рост нашей экономики потребует масштабной энергетической поддержки, и этот вызов энергетика обязана принять, чтобы стать не тормозом, а локомотивом развития страны.

Дополнительный вызов вытекает из того факта, что мы – северная страна (две трети нашей территории – вечная мерзлота) и половину энергоресурсов мы тратим на простой обогрев.

Некоторые из обсуждаемых ниже вопросов имеют следующий вид:

- старение и замена электрооборудования;
- электрогенерация парогазовых установок;
- добыча трудноизвлекаемых запасов нефти и газа;
- глубокая переработка углеводородов;
- атомная энергетика;
- возобновляемая энергетика;
- цифровая энергетика.

Первый серьезный вызов связан с крайней изношенностью энергетического оборудования. Сегодня 60% генерирующих мощностей превысили плановый срок эксплуатации, а 35% выработали свой парковый ресурс и, поэтому, нуждаются в срочной замене. Не лучше ситуация в электросетевом секторе, где замене подлежит 60% оборудования магистральных и распределительных сетях. Изношенность электросетей и оборудования в России составляет в среднем около 65-70%, что на 30% выше, чем в странах Европы. Если обращаться к статистике, то можно заметить, что в 1990-х годах износ сетей в России составлял 30-40%, в 2000-х – 50-60%. Если составлять рейтинг регионов России по изношенности электросетей и оборудования на сегодняшний день, то во всех федеральных округах найдутся субъекты, где мощности выработали свой ресурс на 70, 80, а где-то и 90%. Отсутствие должных инвестиций привело к выработке нормативного срока магистральных сетей на 50% и распределительных сетей на 70%.

Естественно, что эти замены должны проводиться на новое современное оборудование, созданное на основе передовых научных идей и принципов. Этот круг вопросов будет представлен в докладе академика Сергея Петровича Филиппова, который, кроме того, расскажет об основных положениях Энергетической стратегии России на период до 2035 года, в разработке которой принимала участие наша Академия. Выстроенные приоритеты этой энергостратегии, как Вы понимаете, в полной мере были учтены при разработке обсуждаемых нами приоритетов.

В качестве совершенных устройств, которые должны прийти на смену устаревшим паросиловым установкам, являются парогазовые установки, придуманные нашим соотечественником – академиком Сергеем Алексеевичем Христиановичем. Схема парогазового цикла представлена на рис. 2.

Парогазовая установка (ПГУ) представляет собой комбинацию газовой турбины и обычного паросилового цикла. Это дает возможность эффективно

использовать как высокоэнтальпную, так и низкоэнтальпную часть цикла, доведя КПД этого процесса до 60-64% против среднего КПД в нашей теплоэнергетике на уровне 40%.

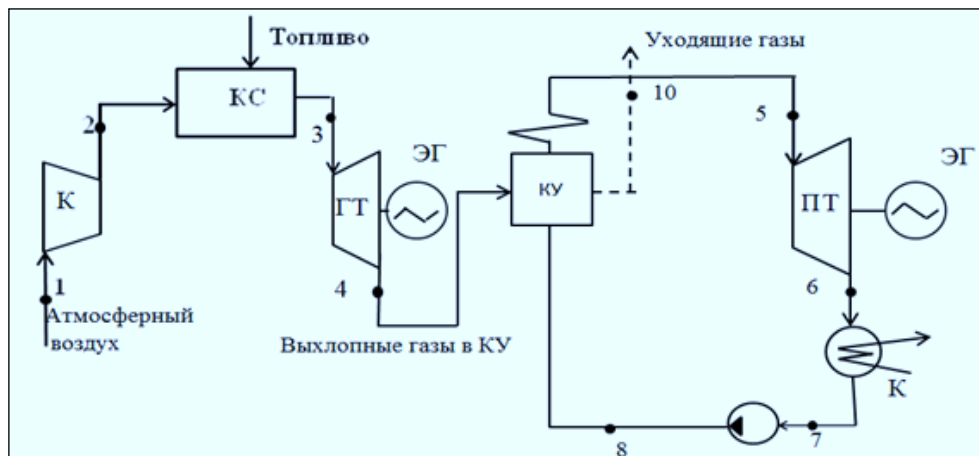


Рис.2. Схема парогазового цикла

Дальнейший прогресс в разработке ПГУ нового поколения связан с созданием новых материалов, способных работать в условиях экстремально высоких температур и давлений.

Здесь важно также правильно организовать процессы горения с целью снижения вредных выбросов. По-видимому, наиболее перспективным здесь является парогазовый (или комбинированный) цикл, основанный на последовательном применении газотурбинных и парогазовых установок (ПГУ). Достигнутые сегодня на электростанциях КПД в 58-62% могут быть повышены до 75-80% путем введения в цикл высокотемпературных топливных элементов, улучшением охлаждения лопаток воздухом и водяным паром, применением высокопрочных высокотемпературных материалов и барьерных покрытий, улучшением газодинамики лопаточной и проточной частей, применением физико-химических и электрофизических методов управления процессом горения, т.е. использованием всего научного арсенала современной высокотемпературной теплофизики. Создаются ПГУ с применением различных методов газификации угля – внутрицикловой или в кипящем слое. Это особенно важно для России, в Европейской части которой 70% топлива электростанций – природный газ, сжигаемый пока в неэффективном паросиловом цикле с КПД всего 38-40%. Уголь может быть эффективным топливом и в обычных циклах Ренкина, работающих при суперсверхкритических параметрах пара ($T \approx 600-650 \text{ }^\circ\text{C}$, $P \approx 300-350 \text{ атм}$) с КПД 47%. Перспективным является использование высокотемпературных оксидных топливных элементов и иных мероприятий, способных поднять КПД до рекордных 80%. Здесь многое могут сделать наши химики, механики, гидродинамики, материаловеды и ученые иных специальностей.

О рекомендуемых нами направлениях работ по ПГУ расскажет академик Олег Николаевич Фаворский.

Богатые энергетические ресурсы является нашим национальным достоянием, дающим большую часть ВВП страны и определяющими темпы нашего социально-экономического развития и места России, как крупнейшего экспортера энергоресурсов. Ситуация здесь, однако, быстро меняется (часто не в нашу сторону). Так в последнее время «сланцевая» революция, позволила США выйти по нефти на первое место в мире, подвинув нас на 2-3 место.

Вместе с тем у России остаются хорошие перспективы. В частности, у нас громадные запасы трудноизвлекаемых энергоресурсов (рис. 3). Сообщение академика Алексея Эмильевича Конторовича будет посвящено этому вызову и нашим перспективам в этом важном деле.

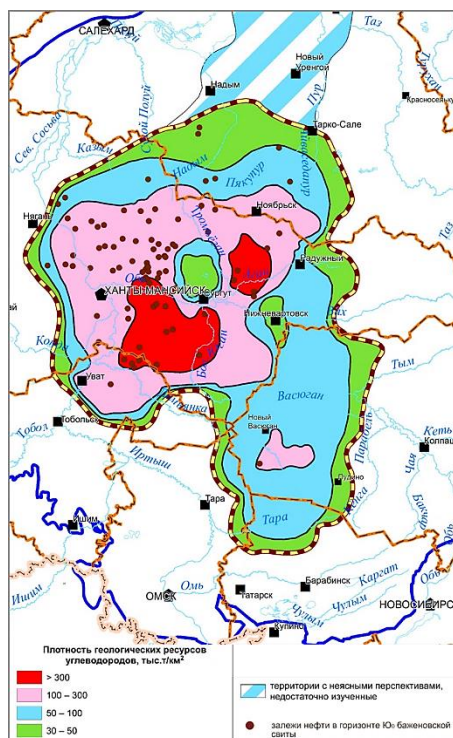


Рис. 3. Трудноизвлекаемые энергоресурсы углеводородов

Несмотря на большие многолетние усилия, уровень переработки добываемых нефтепродуктов находится на невысоком уровне – 80% (рис. 4). В то время как в США он достигает 96%, а в Европе – 85%, Россия существенно уступает ведущим странам мира по освоению высокотехнологичных методов переработки нефтепродуктов с высоким выходом светлых (легких) фракций. Пути парирования этого серьезного вызова будут представлены в сообщении академика Валерия Ивановича Бухтиярова.

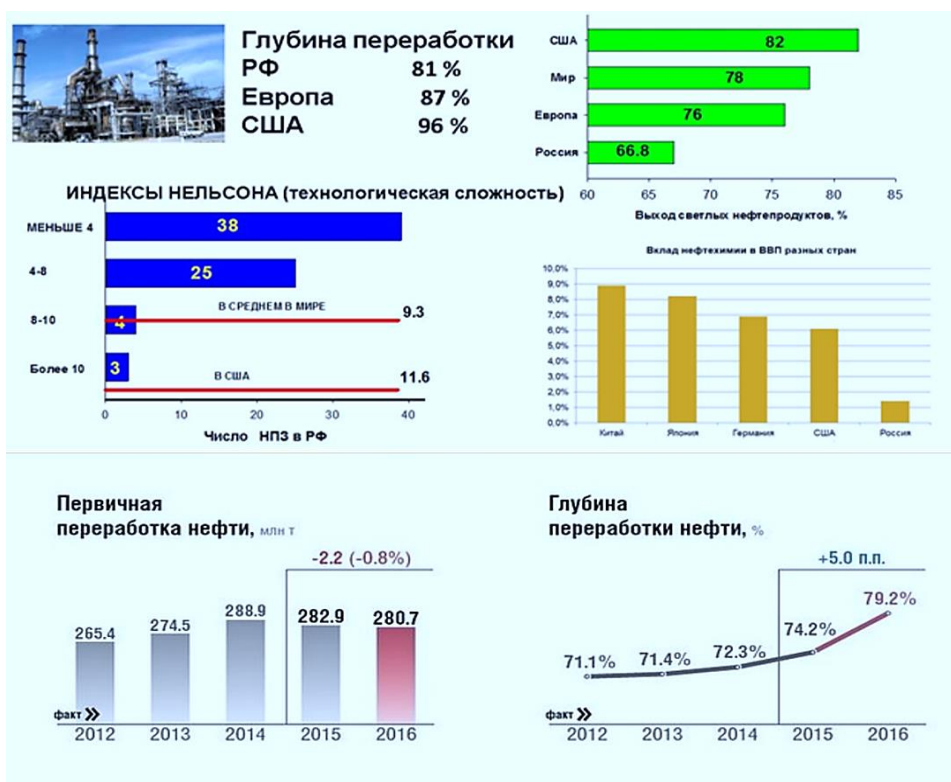


Рис. 4. Показатели переработки углеводородного сырья в мире и в России

Как я уже отмечал, состояние энергосетевого хозяйства также является для нас серьезнейшим вызовом, так как существующие магистральные и распределительные сети страны крайне изношены и нуждается в замене. Перспективы здесь связаны с переходом к «цифровой энергетике», основанной на синтезе мощных энерготранспортных систем и современной микроэлектронной сенсорики и вычислительной техники, а также с переходом к новым принципам управления и контроля в электроэнергетике (рис. 5).

Внедрение современных цифровых технологий даст возможность снизить потери в сетях с сегодняшних 10-15% до 5%, а также кратно повысить надежность и качество энергоснабжения.

Подробнее эту острую тему осветит в своем докладе член-корреспондент РАН Николай Иванович Воропай.

Атомная энергетика всегда была в центре внимания ученых и специалистов. Но в последнее время мы столкнулись с возрастающей конкуренцией в этой области. Сегодня АЭС поставляют в мировую энергетику около 6 % от всей производимой энергии (15 % электроэнергии, в России – 16 %, во Франции – до 70 %). В последние годы здесь наблюдается большой прогресс в повышении безопасности АЭС посредством введения активных и пассивных средств безопасности. Сегодня ядерные энерготехнологии

рассматриваются как высокобезопасные и экологически чистые. Сценарий МЭА предполагает увеличение мощности атомных реакторов в 2030 г. с теперешних 370 ГВт до 433 ГВт.



Рис. 5. Основные тенденции развития электрических сетей в XXI веке.
Условия: 1) минимальная стоимость; 2) рынок электроэнергетики; 3) развитая инфраструктура

В ближайшие 20-30 лет наибольшее развитие должны получить корпусные реакторы с водяным теплоносителем, реакторы на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем и высокотемпературные реакторы с гелиевым теплоносителем. Параллельно идут работы по созданию оксидных и нитридных топлив нового поколения, рассчитанных на более высокие уровни выгорания и улучшенные характеристики безопасности.

Известная осторожность в развитии ядерной энергетики связана с проблемой нераспространения ядерных материалов, пригодных для создания ядерного оружия, и с долгоживущими радиоактивными отходами. Перспектива здесь – за реакторами с повышенной (внутренней) безопасностью и реакторами на быстрых нейтронах с расширенной наработкой ядерного горючего и замкнутым ядерным циклом с вовлечением в него запасов урана-238, а затем и тория-232. Отметим хорошие перспективы реакторов деления с внешней нейтронной подсветкой, обладающих полной внутренней безопасностью.

Интересные перспективы имеет использование ядерных реакторов для наработки водорода, используемого затем как экологически чистый энергоноситель в электроэнергетике и на транспорте.

Во всем мире, наряду со строительством новых энергоблоков, активно предлагаются новые интересные схемы ядерных энергоустановок, типа гибридных схем с внешней нейтронной подсветкой и инновационных реакторов на быстрых нейтронах. Предлагаются новые схемы топливных композиций, способных работать при предельно высоких – экстремальных температурах и нейтронных потоках.

Более чем 50-летний период интенсивных исследований управляемого термоядерного синтеза (УТС) привел к началу практической реализации этого безуглеродного и, по существу, неисчерпаемого источника энергии. Речь идет о воспроизведении в земных условиях реакций УТС легких элементов, дающих энергию звездам и нашему Солнцу. Для этого необходимо в земных условиях разогреть плазму до гигантских температур и удерживать ее в течение определенного времени. Здесь конкурируют два подхода: использование термоядерных устройств с магнитным и инерционным удержанием плазмы. В обоих направлениях в последние годы достигнут впечатляющий прогресс, позволяющий перейти в энергетике к практическому применению термоядерной энергии. В УТС с магнитным удержанием горячей плазмы в замкнутых тороидальных системах токамак сразу на трех установках JET (Joint European Torus) (Европа), JT60-U (Япония) и PLT (Princeton Large Torus) (США) получены условия, при которых подводимая к плазме энергия близка к энерговыделению от термоядерных реакций. Это позволило перейти к строительству международного термоядерного реактора ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) стоимостью до 13 млрд. долларов (ввод в действие в 2017 г., срок эксплуатации примерно 25 лет), на котором будет достигнута термоядерная мощность 500 МВт, а энерговыделение от реакции синтеза должно превысить энергозатраты на нагрев и удержание плазмы в 10 раз. Основные научно-технические результаты планируется получить в течение 8 лет с начала эксплуатации ITER.

Успех проекта ITER позволит затем перейти к строительству (предположительно в 2030-х годах) термоядерного реактора DEMO (DEMOstration/prototype fusion power plant) стоимостью 10-20 млрд. долларов, который станет прототипом промышленной термоядерной электростанции. В качестве перспективной комбинированной «синтез-делительной» схемы рассматривается вариант ядерного реактора, в котором реактор управляемого термоядерного синтеза (УТС) используется в качестве источника термоядерных нейтронов для деления топлива внешней оболочки из делящегося вещества, находящегося в подкритическом режиме.

Параллельно с развитием магнитного УТС успешно развивается альтернативная схема УТС, основанная на инерционном удержании термоядерной плазмы, нагретой до температуры 10^8 К и сжатой до гигантских плотностей (порядка $1000 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$) мягким рентгеновским излучением, генерируемым плазмой, нагретой мощными лазерами, или плазмой сильнотоочных Z-пинчей. С этой целью в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса сооружена мощная лазерная система NIF (National Ignition Facility), состоящая из 192 пучков лазерного излучения с общей энергией 1,8 МДж и длительностью импульса $\sim 10^{-9}$ с. Похожая установка – LMJ (Laser Me'gajoule) – сооружается во Франции. По оценкам разработчиков обе эти установки должны обеспечить положительное термоядерное энерговыделение в виде микровзрывов.

С некоторым отставанием, но достаточно энергично ведутся работы по сильнотоочному направлению (pulsed power) инерциального УТС. В этом

случае сжимающее и разогревающее термоядерную микромишень мягкое рентгеновское излучение генерируется столкновением высокоскоростных (до 500 км/сек) плазменных потоков, ускоряемых гигантским импульсным током (примерно до 40 МА).

За последние годы достигнут большой прогресс в понимании физических процессов в горячей плазме экстремальных состояний, происходящих при сжатии мишени под воздействием лазерного и рентгеновского излучения. Важно, что современные термоядерные микромишени уже были проверены при подземных ядерных взрывах, которые позволяют обеспечить требуемые параметры излучения. Уже получены условия зажигания термоядерной энергии, и поэтому нет сомнений, что УТС с инерционным удержанием может привести к успеху.

Основная техническая проблема, с которой сталкиваются исследователи, работающие в этой области, – создание эффективного импульсного драйвера для ускорения оболочки термоядерных микромишеней. Наряду с применением лазеров и сильноточных пинчей, здесь рассматривается использование интенсивных потоков релятивистских тяжелых ионов и разнообразных остроумных комбинированных схем типа «быстрого поджига» и т.п.

Говоря о термоядерных исследованиях, особо подчеркнем, что для зажигания термоядерных реакций необходима генерация экстремально высоких температур и давлений, что требует детальных исследований физических свойств горячей плазмы в экстремальных состояниях, встречающихся в астрофизических объектах, но труднодостижимых в лабораторных условиях.

Особая привлекательность термоядерной энергетики состоит в ее фактически безграничных топливных ресурсах и экологической чистоте. Широко распространенный изотоп дейтерий может легко добываться из морской воды. Тритий нарабатывается в самом реакторе из лития, запасы которого (как и дейтерия) имеются на многие тысячелетия. Продукт реакции синтеза – гелий – не радиоактивен. Правда, возникает наведенная радиоактивность в материалах реактора, но эта проблема имеет приемлемые решения уже сейчас.

Пока трудно сказать, какая схема УТС – магнитная или инерционная – ляжет в основу промышленного термоядерного реактора будущего, но, учитывая значительные трудности этого проекта, практическую реализацию термоядерной энергетики предсказывают на период не ранее второй половины нашего века.

Академик Леонид Александрович Большов расскажет о современных вызовах в ядерной энергетике.

Во всем мире, как Вы хорошо знаете, масштабное развитие получили возобновляемые источники энергии. При суммарной установленной мощности всех электростанций мира около 5000 ГВт мощность энергоустановок на новых технологиях использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) (без крупных ГЭС) в 2017 году достигла 1100 ГВт

(более 20% мощности всех электростанций мира). Наиболее бурно развивается солнечная и ветровая энергетика. Так мощность солнечных энергоустановок в 2017 году достигла 400 ГВт (что превысило мощность АЭС), а ввод новых солнечных мощностей в 2017 году составил 98 ГВт. Для сравнения отмечу, что суммарная мощность всех АЭС в мире равна 350 ГВт, а мощность электростанций России 240 ГВт.

Во многих регионах мира с дорогими (импортируемыми) энергоресурсами ВИЭ достигли уровня конкурентоспособности или вплотную приблизились к нему. Использование местных ВИЭ дает минимальную техногенную нагрузку на природу и обеспечивает возможность эффективного энергоснабжения потребителей, удаленных от централизованных систем, что особенно актуально для условий России (рис. 6), 2/3 территории которой находится вне электрических и газовых сетей.

Следует, конечно, отметить, что вследствие нестабильности (схоластического статистического характера) большинства видов ВИЭ – автономные энергоустановки, требуют оснащения системами аккумулирования энергии, или гибридизации с установками на органическом топливе, что существенно удорожает их.

Суммарная среднедневная солнечная радиация на наклонную поверхность южной ориентации с углом наклона равным широте местности (год)

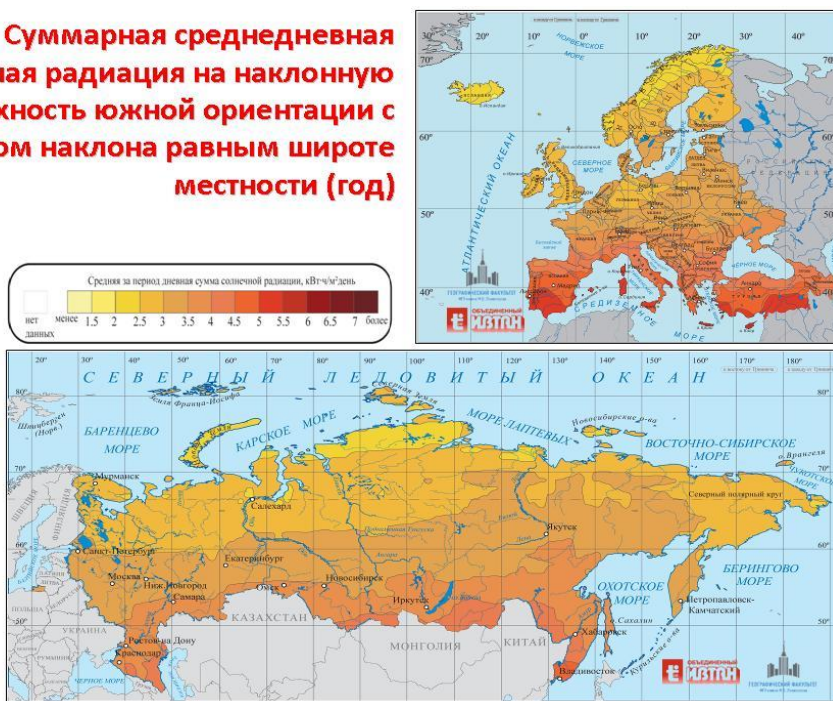


Рис. 6 (а). Ресурсы ВЭИ России

Однако решение стоящих перед Россией актуальных задач опережающего развития Дальнего Востока, Арктики и других отдаленных территорий страны сегодня представляется невозможным без широкого использования ВИЭ.

Сегодня вклад новых технологий возобновляемой энергетики в энергобаланс страны удручающе мал, всего около 1%. Ее конкурентоспособность в условиях относительно низких тарифов и цен на энергоресурсы по сравнению с другими странами у нас сегодня невысока. Однако с учетом очевидных мировых тенденций революционного совершенствования и удешевления технологий уже в ближайшее десятилетие использование ВИЭ станет экономически эффективным во многих регионах нашей огромной страны. Последние российские научно-технические достижения, например, в области фотоэлектрической энергетики, выразившиеся в промышленном освоении разработанной специалистами ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН отечественной технологии изготовления фотоэлектрических модулей с КПД более 22% на Новочебоксарском заводе Хевел, вывели Россию в тройку стран-лидеров по промышленному производству фотоэлектрических модулей с КПД более 20% и открыли возможности не только для использования высокотехнологичной продукции в нашей стране, но и для ее экспорта в другие страны.

Среднегодовые скорости ветра на высоте 50 м

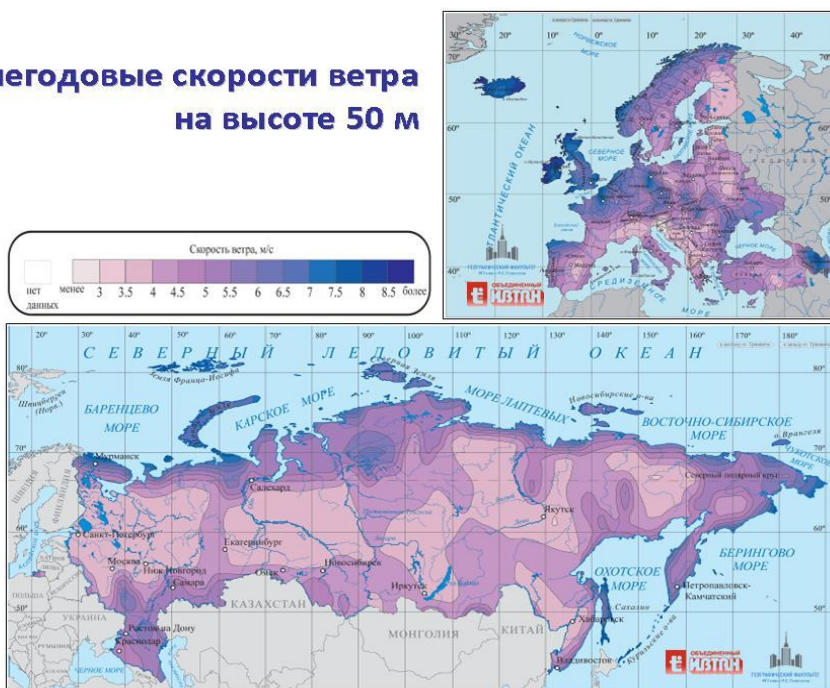


Рис. 6 (б). Ресурсы ВЭИ России

Возобновляемая энергетика – это настоящий вызов для нас и здесь у нас неплохие перспективы. Как показали последние исследования ОИВТ РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова ресурсы возобновляемых источников энергии в нашей стране огромны, в том числе в области практического использования солнечной и ветровой энергии, что дает нам хорошие перспективы.

По поступлению энергии солнечного излучения наша («северная») страна располагает не худшими ресурсами, чем Европа, где ВИЭ используются уже очень широко, обеспечивая, например, в Германии около 40% генерации электрической энергии. За три первые квартала 2017 года на основе возобновляемых источников энергии было произведено 37,5% электроэнергии ФРГ. По итогам 2016 года доля ВИЭ составила 34%.

Объем генерации на основе ВИЭ за период достиг 151,57 тераватт-часов.

Ветроэнергетика произвела 16,4% немецкой электроэнергии (66,59 ТВт·ч). Ветер является крупнейшим источником энергии в стране после бурого угля.

Солнечная энергетика выработала 8,7% – больше, чем газовая генерация (8,4%). Выработка солнечных электростанций за три первые квартала практически достигла уровня всего прошлого года. В связи с тем, что до конца года нас ждут темные месяцы, доля солнца в структуре генерации к концу 2017 несколько снизится.

В энергетике Германии до сих пор доминирует уголь, что негативно влияет на способность страны выполнять свои климатические обязательства. На основе бурого угля было произведено 25% электроэнергии, каменного – 15,9%. В сумме это несколько меньше, чем доля угля в 2016 году.

В соответствии с немецким Законом о возобновляемых источниках энергии, к 2020 г. ВИЭ должны производить 40-45% электричества в стране. С учетом отмечаемых тенденций, эта цель, вероятно, будет достигнута раньше.

Нам нельзя забывать и о развитии таких, казалось бы, уже «традиционных» энергетических технологий как гидроэнергетика и геотермальная энергетика. Гидроэнергетика обеспечивает выработку 21% электроэнергии в мире, ее развитие определяется имеющимися гидроресурсами и, поскольку большинство из наиболее привлекательных гидроресурсов уже освоено, мощность гидроэлектростанций (ГЭС) не превысит 1,5-1,7 ТВт.

Перспектива здесь связывается с освоением гидроэнергетических ресурсов малых рек и, где это, возможно, прежде всего, с учетом экологических ограничений, реализацией новых масштабных проектов (для России – в Сибири и на Дальнем Востоке), а также с созданием современных гидрогенераторов с переменной скоростью вращения. Гидроэнергетика имеет хорошие перспективы в сочетании с развитыми линиями электропередач для переброски вырабатываемой энергии в Европейскую часть России в моменты максимумов дневного энергопотребления.

Геотермальная энергетика уже доказала свою состоятельность и высокую конкурентоспособность при решении проблем энергоснабжения Камчатки (Мутновская ГеоЭС и др.) и Курильских островов. Отечественные разработки в этой области находятся на современном мировом уровне. Приоритетным направлением является разработка эффективных энергоустановок на основе бинарных циклов с использованием низкокипящих рабочих тел, что позволит существенно расширить зоны их привлекательного практического использования в районах страны с более низкими температурными параметрами геотермального теплоносителя (120-150 °С).

Проблемам и перспективам развития возобновляемой энергетики в нашей стране более подробное внимание будет уделено в сообщении академика Сергея Владимировича Алексеенко.

Стоящие перед нашей энергетикой вызовы масштабны и разнообразны. Они имеют очень разные причины и риски. Однако предлагаемые способы парирования этих угроз могут быть успешно реализованы только при опоре на самую передовую науку. И, в первую очередь, на науку о фундаментальных свойствах веществ, рабочих сред и материалах, работающих в экстремальных условиях новой энергетики.

Дело в том, что, как хорошо известно, самые общие законы природы требуют для создания новых энергоэффективных технологий постоянного продвижения вверх по шкале температур – перехода все к большим и большим – предельно высоким температурам, давлениям и плотностям энергии. Поэтому работы по всему комплексу теплофизики экстремальных состояний должны быть безусловным приоритетом – научным базисом для всех иных энергетических приоритетов.

Речь идет о термодинамических, транспортных, радиационных, механических, прочностных, физико-химических свойствах материалов и рабочих сред в твердом, жидком, газообразном и плазменном состояниях вещества.

Научно-технологический прогресс в энергетике аккумулирует достижения и является одним из важнейших каналов практической реализации результатов фактически всех наук, которые и создают идейные и научно-технические базовые условия для инновационного развития энергетической основы человечества. Результаты одних наук (прежде всего, наук об экономике и экосфере) влияют на требования общества к развитию энергетики, других (геология, биология, физика) – определяют доступные энергоресурсы, третьих (физика, химия, механика) – создают конкретные предпосылки для энергетических инноваций, четвертые (математика, информационные технологии, процессы управления) – обеспечивают управляемость и устойчивость создаваемых энергетических технологий и энергосистем. Инновации в энергетике имеют ярко выраженный интернациональный характер и глобальные тренды.

На основе последнего технологического прогноза Международного энергетического агентства, подготовленного по результатам двухлетних исследований, проведенных почти 2000 специалистами из стран, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (OECD), приоритетными признаны восемь классов ключевых технологий производства энергии в составе более 120 новых технологий и девять классов (почти 170 новых технологий) использования энергии. Для каждого класса технологий разработаны достаточно подробные «дорожные карты» их включения в инновационную энергетику со сроками и объемами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, размерами использования и требуемыми на это капиталовложениями.

Нарастающий поток возможных энергетических технологий создается на основе фундаментальных достижений физики, химии, а теперь и биологии такими физико-техническими дисциплинами, как электрофизика и электротехника, теплофизика и теплотехника, гидравлика и гидротехника, атомная физика и техника. В этом состоят существо исследований и основа технологического прогресса в энергетике, и по грубым оценкам на них приходится до 70 % научных усилий в этой области.

Проводя эти фундаментальные и прикладные исследования, мы должны уходить от сугубого прагматизма и вести исследования широким фронтом, помня напутствие наших учителей – академиком Якова Борисовича Зельдовича и Юлиа Борисовича Харитона:

«Мы должны знать в 10 раз больше того, что нужно для конкретного технического изделия».

Именно этот завет позволил в свое время успешно парировать серьезные вызовы и создавать в нашей стране самые передовые, мощные на планете импульсные энергетические устройства.

Рассматриваемые вопросы являются научной основой реализации приоритета научно-технологического развития России в области энергетики.

С.П. Филиппов¹

Первоочередные комплексные научно-технические программы в энергетике

Энергетика является одной из важнейших инфраструктурных отраслей страны. От эффективности ее функционирования во много зависят перспективы развития всей отечественной экономики.

Это крупнейшая экспорто-ориентированная отрасль. Экспортируется около половины добываемых в стране топлив. В 2017 г. вклад энергетики в экспортную выручку составил около 60%. Велика ее роль в наполнении федерального и региональных бюджетов. В доходах консолидированного государственного бюджета доля энергетики равна 25%. Ее вклад в ВВП страны в 2017 г. превысил 20%. В периоды высоких мировых цен на нефть доля энергетики в экономике страны была еще выше: около 69% в экспорте, 33% в консолидированном госбюджете, 25% в ВВП. В то же время, энергетика считается одной из наиболее капиталоемких отраслей. В 2017 г. на нее приходилось более 27% суммарных капиталовложений в экономику страны, а в предыдущие годы эта величина превышала 32%.

Энергетика в России является важнейшим элементом национальной безопасности, в частности, из-за суровых климатических условий, высокой степени централизации энергоснабжения и большого влияния экспорта топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на экономику страны. Перерыв в энергоснабжении крупных населенных пунктов, промышленных зон и транспортных узлов зимой чреват катастрофическими последствиями.

Ценовые потрясения на мировых энергетических рынках и сокращение экспорта отечественных ТЭР вследствие геополитических факторов или падения глобального спроса на ископаемые топлива в результате энергосбережения и развития возобновляемой энергетики чреват серьезными внутренними экономическими и социальными проблемами. Чрезмерная зависимость многих секторов отечественной энергетики от импортных технологий, материалов и оборудования создают реальную угрозу потери национального энергомашиностроения, некогда признанного мирового технологического лидера. Такая же участь ждет и отечественную энергетическую науку.

Развитие энергетики, как мировой, так и отечественной вступает в период высокой турбулентности и большой неопределенности. Обусловлено это, прежде всего, быстрыми темпами научно-технологического прогресса (НТП) как в секторе конечного потребления, так и непосредственно в энергетике. Меняются объемы и структура спроса на энергию, состав конкурирующих технологий и условия их рыночной конкуренции. Массовая электрификация транспорта ведет к сокращению спроса на моторные топлива и, следовательно, на нефть. Беспрецедентно высокими темпами развивается в мире возобновляемая энергетика, вытесняя из мирового топливно-энергетического

¹ Директор Института энергетических исследований (ИНЭИ) РАН, академик РАН

баланса органические топлива. Продолжающиеся процессы урбанизации и роста мегаполисов ужесточают природоохранное законодательство и, следовательно, требования к экологической чистоте энергетики. Все настойчивее звучат призывы к глобальной декарбонизации энергетики как реакции на наблюдаемые (но не объясненные до конца) климатические изменения. Делаются шаги к заключению соответствующих юридически обязывающих международных соглашений. Все это может разрушить мировые рынки нефти и угля с драматическим падением цен на них и тяжелейшими последствиями для нефте- и угледобывающих стран, включая Россию.

Под давлением этих и ряда других факторов мировая энергетика вступает в эпоху новой технологической трансформации. Как ожидается, ее результатом должно стать формирование нового технологического уклада, в основе которого будут находиться «природоподобные» технологии – энергоэффективные и с минимальным негативным воздействием на окружающую среду. Очевидно, что они должны быть конкурентоспособными с традиционными решениями по совокупности всех стадий «жизненного цикла» с учетом системных эффектов в энергетике и мультипликативных эффектов в смежных отраслях, а также «социальной стоимости» энергии.

Создание таких технологий требует значительных ресурсов и поэтому а) целесообразно только при наличии емких рынков и б) под силу только индустриально развитым странам (или их объединениям), имеющих мощную науку. Причем, научная составляющая будет определяющей. Отставание России в начавшейся технологической гонке создает серьезные угрозы ее экономике и национальной безопасности. Реальностью станет или технологическая стагнация отрасли и ее катастрофическая неконкурентоспособность при использовании отсталого отечественного оборудования, или полная технологическая зависимость от зарубежных поставщиков новой техники, расходных материалов и последующего ее сервисного обслуживания. В то же время, нужно быть реалистами и отдавать себе отчет, что разработка новых энергетических технологий мирового уровня является серьезным вызовом для отечественной промышленности и науки.

Энергетика России должна быть готовой к новым угрозам и новым вызовам. Проблема усугубляется неудовлетворительным техническим состоянием отрасли и разобщенностью энергетической науки, а также ее хронически нестабильным финансовым состоянием. В энергетике страны в эксплуатации находится очень много физически и морально устаревшего оборудования, что негативно сказывается на финансовых показателях отрасли, ведет к росту себестоимости производимой продукции и, следовательно, к росту цен на топливо и энергию для конечных потребителей.

Геополитические, да и экономические факторы требуют, чтобы технологическое обновление отрасли осуществлялось на основе новых отечественных технологий, конкурентоспособных с лучшими зарубежными образцами. Разработка таких технологий, причем, в достаточно сжатые сроки и при наличии существенных ресурсных ограничений представляет собой

сложную научно-техническую задачу и, как указывалось выше, серьезный вызов для отечественной науки и промышленности. В то же время, это открывает новые «окна возможностей» для отечественного энергомашиностроения.

Для быстрого решения сложных междисциплинарных и межотраслевых задач удачным может стать формат комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла (КНТП). Он предполагает объединение усилий фундаментальной и прикладной науки, бизнеса, в том числе крупного и, что очень важно, органов государственного управления в данной сфере. Конечным результатом программ должно стать создание отечественных технологий и продуктов, конкурентоспособных, как на внутреннем, так и внешних рынках.

Финансирование программ на условиях государственно-частного партнерства делает их потенциально интересными и для государства, и для бизнеса, и для науки. Государство получает ускоренное инновационное развитие отраслей экономики, бизнес – новые конкурентоспособные технологии и продукты, наука – конкретное воплощение своих компетенций и необходимое для этого ресурсное обеспечение. При этом имеющиеся риски разделяются между всеми участниками программы. Представляется целесообразным стимулировать активное участие бизнеса в реализации программ дополнительными государственными преференциями.

Эффективным может оказаться структурирование программ в виде совокупности взаимосвязанных проектов, обеспечивающих достижение конечных результатов. При этом проекты по форме организации выполнения могут быть достаточно самостоятельными. Получаемые в них результаты могут иметь самостоятельное коммерческое значение. Это существенно повышает гибкость программ, их привлекательность для бизнеса и финансовую устойчивость. Взаимосвязанность проектов и сроки их реализации в рамках программы должны увязываться «дорожной картой».

На проведенных 7-ми заседаниях Совета по приоритету научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии» (далее – ПНТР «Энергетика») рассмотрены ключевые проблемы развития отечественной энергетике. В результате было рекомендовано для разработки несколько проектов комплексных программ, первоочередными среди них являются:

1) «Распределенная энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем» (КНТП «Распределенная энергетика»);

2) «Газотурбинные технологии нового поколения для энергетике» (КНТП «Новые газотурбинные технологии»).

Первая программа нацелена на создание принципиально новой технологической платформы для будущей энергетике, причем, с огромным экспортным потенциалом на долгосрочную перспективу.

Вторая программа отражает потребности в технологическом обновлении

сложившихся систем централизованного энергоснабжения, которые останутся востребованными на многие десятилетия вперед. По своей сути представленные программы являются междисциплинарными и межотраслевыми, требующими мощной научной поддержки.

Программы относятся к электроэнергетике. Их выбор объясняется той исключительно важной ролью, которую играет электроэнергия в экономике.

В настоящее время в России доля электроэнергии в секторе конечного потребления превышает 15% в структуре используемых энергоносителей и неуклонно растет. При этом по величине душевого потребления электроэнергии в этом секторе (5 МВт·ч в год) Россия существенно отстает от индустриально развитых стран с большой территорией, в частности, от США (12 МВт·ч в год) и Канады (14 МВт·ч в год). Применительно к домашним хозяйствам это отставание еще больше 1 МВт·ч в год в России и 4,4 и 4,7 МВт·ч в год в США и Канаде соответственно. Между тем, величины душевого потребления электроэнергии в сектора конечного потребления и его составляющей – домашних хозяйств являются одними из ключевых индикаторов степени экономического развития страны и достигнутого уровня жизни ее населения. Следовательно, имеется значительный потенциал в России для роста спроса на электроэнергию.

Электричество является универсальным безэнтروпийным энергоносителем, удобным в использовании, транспортабельным на значительные расстояния, достаточно легко распределяемым между потребителями. По мере развертывания новой технологической революции и реализации концепции «Индустрия-4.0» роль электричества будет нарастать. Реальностью становится движение экономики и общества в сторону «электрического мира», в котором подавляющая часть спроса на энергию будет удовлетворяться за счет электричества. Еще недавно данная концепция считалась утопической.

Важным аргументом в пользу выбора обсуждаемых программ в качестве первоочередных служит также тот факт, что продукция электроэнергетики ориентирована на внутренний рынок. Поэтому в этой отрасли в отличие от экспорто-ориентированных отраслей (нефтегазовой, угольной) нет достаточных возможностей финансировать в нужных объемах разработку конкурентоспособных отечественных технологий и осуществлять на их базе технологическое перевооружение. Здесь нужна действенная государственная поддержка.

Вслед за представленными программами могут быть предложены другие, нацеленные на решение прочих важных научно-технологических задач в энергетике. В частности, это может быть программа по разработке новых технологий добычи и переработки углеводородного сырья (УВС) – нефти и природного газа. Она нужна в целях добычи трудноизвлекаемых ресурсов углеводородов и более рационального использования УВС, что обеспечит кратное повышение экспортного потенциала нефтегазового сектора. В настоящее время в экспорте топлива и энергии (в стоимостном выражении) доля продуктов глубокой переработки не достигает и 15%. Однако программы

в нефтегазовой сфере могут реализоваться при значительно большем финансовом участии бизнеса. Роль государства здесь должна быть больше организационной и координирующей.

Заслуживает внимания решение актуальных научно-технических проблем в области атомной энергетики, связанных, в том числе, с дальнейшим повышением безопасности эксплуатации ядерных объектов, с повышением эффективности использования природного ядерного топлива (в настоящее время в электроэнергию преобразуется только 0,2% энергетического потенциала природного урана), с обеспечением надежного и безопасного обращения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов.

Серьезного научного внимания заслуживает проблема замыкания ядерного топливного цикла, чрезвычайно затратная в исполнении и во многом остающаяся дискуссионной по технологической реализации. Сложнейшей научно-технической проблемой является создание промышленной термоядерной энергетики, что обеспечило бы человечество энергией на тысячелетия и позволило бы отказаться от использования невозобновляемых ископаемых органических топлив.

Программа «Распределенная энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем» (Проект КНТП «Распределенная энергетика»).

В общем случае под распределенной генерацией (РГ) понимаются источники производства электроэнергии (электростанции) всех типов (на органическом топливе, возобновляемых видах энергии, ядерной энергии) мощностью 25 МВт и менее, работающие:

- а) автономно (децентрализованное электроснабжение);
- б) в составе электроэнергетических систем – ЭЭС (централизованное электроснабжение);
- в) в «островном» режиме, то есть автономно, но с подключением к ЭЭС в целях резервирования мощности, покрытия из сети пиковых нагрузок, выдачи в сеть излишков мощности;
- г) в составе микро-грид – специализированной электрической сети низкого напряжения.

Иногда разделяют автономную и распределенную генерацию. Основанием для этого служит наличие или отсутствие связей с системой – ЭЭС или микро-грид. При подключении источников РГ к ЭЭС осуществляется вертикальное (иерархическое) управление режимами их работы (диспетчеризация). При нахождении таких источников в составе микро-грид управление их работой является горизонтальным (автоматическое, интеллектуальное).

Своеобразными элементами распределенной генерации могут стать аккумуляторы электроэнергии. Они могут принадлежать: а) производителям электроэнергии и размещаться на электростанциях, б) сетевым компаниям и включаться в сеть в любом месте («сетевые аккумуляторы») и в) потребителям электроэнергии и размещаться на их площадках.

Представленные аккумуляторы являются стационарными, то есть с фиксированной точкой «врезки» в сеть. Кроме них может появиться новый

класс аккумуляторов, участвующих в регулировании электрических режимов в системе – «мобильные аккумуляторы», установленные на электромобилях. Они могут размещаться как на площадке владельца электромобиля, так и в сети в определенных «точках доступа», например, на общественных парковках или зарядных станциях. Такие аккумуляторы могут существенно менять топологию и свойства сети, что значительно усложняет управление режимами ее работы.

Электроэнергетика России характеризуется высокой степенью централизации электроснабжения потребителей. При суммарной установленной электрической мощности электростанций страны 267 ГВт (2017 г.) в централизованной зоне находится около 249 ГВт (93%), в том числе в составе Единой электроэнергетической системы (ЕЭС) России 236 ГВт (88%). Оставшиеся 18 ГВт (7%) находятся в децентрализованной зоне и относятся к классу распределенной генерации. Производство электроэнергии в стране в 2017 г. составило 1091 ТВт·ч, из них в централизованной зоне 1075 ТВт·ч (98,5%), в том числе в ЕЭС России 1049 ТВт·ч (96%), и в децентрализованной зоне – 16 ТВт·ч (1,5%).

В централизованной зоне также имеется значительное количество электростанций небольшой мощности, относящихся к распределенной генерации. В частности, около 3 ГВт сосредоточено на ТЭЦ и еще около 0,6 ГВт приходится на электростанции, использующие возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Следует отметить, что в США еще в 2007 г. (то есть до начала массового внедрения электростанций на базе ВИЭ) на распределенную генерацию приходилось около 200 ГВт или почти 20% установленной мощности электростанций страны. С развитием возобновляемой энергетики эти объемы существенно возросли.

В России имеются благоприятные условия для развития распределенной электрогенерации и, следовательно, обширный внутренний рынок для соответствующих технологий. В стране очень низкая плотность электрических нагрузок и электрических сетей. Плотность электропотребления в среднем по России составляет около 64 кВт·ч/км² в год. Во многих регионах Сибири и Дальнего Востока она не превышает 1 кВт·ч/км² в год. В США эта величина равна 454, в Китае 608, в Японии 2738, в Республике Корея – 5575 кВт·ч/м² в год.

Низкая плотность электрических нагрузок в зоне централизованного электроснабжения оборачивается необходимостью сооружения длинных ЛЭП на низком напряжении. Такие ЛЭП при малых нагрузках характеризуются большими потерями электроэнергии, высокой удельной стоимостью сооружения и, соответственно, большими затратами на передачу.

Кроме того, в России на 2/3 территории страны вообще отсутствует централизованное электроснабжение, а на 3/4 – нет централизованного (сетевого) газоснабжения. Это не только практически все северные и дальневосточные территории, но и многие районы в Европейской части страны. Эти территории в своем большинстве характеризуется низкой

плотностью электрических и тепловых нагрузок, отсутствием транспортной и энергетической инфраструктуры, суровыми климатическими условиями. Их хозяйственное освоение целесообразно на базе технологий распределенной генерации.

Существуют условия для развития распределенной генерации в зоне централизованного электроснабжения. Во многих регионах имеются существенные инфраструктурные ограничения для подключения новых потребителей к ЭЭС. В 2017 г. было подано заявок на присоединение к сети в объеме 39 ГВт, заключено договоров на подключение на 24 ГВт (на сумму 72 млрд. руб.), фактически присоединено 23 ГВт. При этом имеет место низкая эффективность использования потребителями «выбранных» сетевых мощностей. Так, в стране в 2010-2016 гг. к сети было присоединено около 65 ГВт новых потребителей, реально же используется ими только 7,5 ГВт (12%). Таким образом, затраты на развитие сети были компенсированы другими потребителями через рост тарифов на электроэнергию. В случае использования средств распределенной генерации такие негативные эффекты исключаются.

Содержание и развитие электросетевой инфраструктуры является очень затратным. Величина «сетевой составляющей» превышает 2/3 в стоимости электроэнергии у конечных потребителей. Поэтому одним из стимулов для потребителей уменьшить траты на используемую электроэнергию является развитие собственной распределенной генерации. Это способствует повышению конкурентоспособности отечественных товаропроизводителей.

Особенно актуальна данная проблема для сельского хозяйства и сельского населения. В сельской местности плотность электрических нагрузок и сетей низкая и потому доставка централизованной электроэнергии обходится еще дороже. В сельском хозяйстве в настоящее время потребляется около 18,2 ТВт·ч электроэнергии в год. При этом в 2000 г. годовое электропотребление отрасли составляло 30,2 ТВт·ч, а в 1990 г – 67,3 ТВт·ч. Такое сокращение объясняется ростом энергоэффективности отрасли, а также драматическим падением объемов производства с началом рыночных преобразований. Очевидно, что электрификация составит основу дальнейшего развития сельского хозяйства в стране. Поэтому можно ожидать существенного увеличения спроса на электроэнергию в данном секторе экономики.

Крупным потребителем электроэнергии является сельское население. В сельской местности на 1 января 2018 г. проживало 37,6 млн. чел. или 25,6% всего населения страны. Сельским населением в 2017 г. было потреблено 45,5 ТВт·ч электроэнергии или 29,3% от ее суммарного использования всем населением страны. Душевое электропотребление сельских жителей (1190 кВт·ч/год) уже сейчас выше, чем городских (1007 кВт·ч/год). Имеются все основания полагать, что и дальше спрос на электроэнергию сельским населением будет расти. Это объясняется тем, что развитие сельскохозяйственного производства и рост его эффективности невозможны без коренного повышения уровня и условий жизни сельских жителей. Это потребует дальнейшего роста электровооруженности сельского быта.

Важно отметить разнообразие доступных местных ТЭР в сельской местности, что благоприятствует развитию распределенной генерации. Причем, при этом может использоваться широкий спектр технологий РГ.

Важную роль средства распределенной генерации могут сыграть в целях повышения качества электроэнергии и надежности электроснабжения (бесперебойное питание, резервирование и т.д.). Это актуально для высокотехнологичных производств, где недопустимы перерывы в энергоснабжении, а также для сельских районов, где надежность поставок электроэнергии и ее качество объективно ниже из-за топологии и характеристик сельских электросетей.

За рубежом основным продуктом распределенной генерации обычно считается электроэнергия. В южных странах, где проживает подавляющая часть населения планеты, пик электропотребления приходится на лето, когда резко возрастает нагрузка кондиционирования воздуха. В России ситуация принципиально иная. Страна северная, зимой темная (короткий день) и холодная, а летом светлая (короткая ночь) и зачастую жаркая. Поэтому по объективным причинам имеют место очень большие нагрузки отопления и освещения. Во многих регионах достаточно высокими темпами растут нагрузки кондиционирования, в том числе в секторе домашних хозяйств (по мере повышения жизненного уровня населения). На большей территории страны, исключая крайний юг, пики потребления электрической и тепловой энергии, а также природного газа приходится на зимний период. Все это является причиной значительных сезонных колебаний энергопотребления, что неизбежно ведет к снижению эффективности использования оборудования и, следовательно, к росту затрат на энергоснабжение потребителей.

Поэтому в России кроме электроэнергии важным продуктом распределенной генерации должна стать тепловая энергия, потребляемая на отопление (сезонная нагрузка), а также горячее водоснабжение и технологические нужды (круглогодичная нагрузка). Вследствие этого особый интерес представляют технологии комбинированного производства электрической и тепловой энергии (когенерационные установки). Такие технологии позволяют увеличить эффективность использования первичной энергии.

Внутренний рынок тепловой энергии в России велик и сопоставим с рынком электроэнергии. Суммарное потребление в стране централизованно поставляемой тепловой энергии в 2017 г. составило около 5,3 млн ТДж, что в 1,35 раза больше потребляемой электроэнергии. Основными поставщиками тепловой энергии в стране являются ТЭЦ и котельные, выработка которых примерно одинакова и в совокупности достигает 93% от суммарного производства. Остальная теплоэнергия поставляется атомными электростанциями, электрокотельными и производственными теплоутилизирующими установками. В структуре потребляемой тепловой энергии примерно 58% приходится на отопление, 11% на горячее водоснабжение и 31% на технологические нужды. Особый интерес для развития распределенной генерации представляют котельные, прежде всего,

работающие на газообразном топливе. Их преобразование в мини-ТЭЦ может обеспечить прирост не менее 30-40 ГВт электрической мощности.

Огромным рынком для распределенной генерации являются имеющиеся в стране в большом количестве децентрализованные потребители тепловой энергии (более 1 млн ТДж в год), также являющиеся крупными потребителями электроэнергии. Однако это специфический рынок, требующий комбинированных (когенерационных) технологий «потребительского» уровня: простых в управлении и обслуживании, безопасных в обращении.

Распределенная генерация характеризуется обширным составом конкурирующих технологий и большим разнообразием используемых топливно-энергетических ресурсов. В настоящее время широкое распространение получили машинные технологии на органическом топливе: 1) поршневые технологии – дизельные и газопоршневые электростанции электрической мощностью от 1 кВт до 15 МВт соответственно на легком жидком и газообразном топливе; 2) турбинные технологии – газотурбинные установки мощностью 1-25 МВт преимущественно на природном газе. Соответствующее оборудование производится отечественными машиностроительными предприятиями, хотя далеко не всегда оно соответствует лучшим мировым образцам. Отдельно следует выделить микротурбинные технологии – высокотехнологичные изделия электрической мощностью от 10 до 1000 кВт со сверхвысокой частотой вращения вала. В России они не производятся, но в страну завезено и эксплуатируется уже более 1 тысячи штук.

Новым классом технологий распределенной генерации являются топливные элементы – электрохимические генераторы, обеспечивающие прямое преобразование химической энергии топлива в электроэнергию. На их основе также могут создаваться когенерационные установки. Топливные элементы обеспечивают высокий КПД при малых мощностях и достаточно низких температурах процесса, что практически недостижимо для традиционных машинных технологий. В качестве топлива в электрохимических генераторах могут использоваться природный газ, биогаз, сжиженные углеводородные газы. Однако обычно требуется их определенная подготовка, причем, для некоторых типов генераторов (низкотемпературных) – значительная (преобразование топлива в водород с его последующей очисткой). Для энергоснабжения децентрализованных потребителей исключительный интерес представляют когенерационных установки на базе топливных элементов.

В последнее десятилетие в мире чрезвычайно высокими темпами стали внедряться технологии генерации электроэнергии на основе «безуглеродных» ВИЭ, прежде всего, солнечной и ветровой энергии. Такие технологии, видимо, составят основу распределенной энергетики будущего. Но прежде предстоит передовыми техническими средствами (быстродействующей пиковой электрогенерацией) преодолеть их принципиальный недостаток – стохастический характер энергоотдачи, накладывающийся на стохастическую природу электропотребления.

Новой технологией для электроэнергетики являются электрохимические аккумуляторы, которые делают электроэнергию хранимым продуктом, в том числе, в местах ее потребления, что существенно меняет технологический ландшафт отрасли. Эти технологии обладают хорошими маневренными свойствами и могут способствовать нивелированию проблем, связанных со стохастическим характером электрогенерации на базе ВИЭ.

В качестве еще одной значимой новации выступают «микро-гриды» – электрические сети низкого напряжения с двунаправленными потоками и горизонтальным управлением. Их реализация требует использования интеллектуальных алгоритмов и новых типов электротехнического и силового электронного оборудования. Это принципиально новый класс электроэнергетических систем. Для них ключевой может стать проблема обеспечения кибербезопасности. Причем, не только в части защиты данных, но и защиты самих систем управления, что является более сложной задачей.

Огромным коммерческим потенциалом, в том числе экспортным, обладают «гибкие» технические решения («лего» – решения) на базе представленных технологий, реализующие «платформенную» идеологию. Они позволяют из отдельных стандартизованных технических элементов («пазлов») быстро собирать энергоустановки и системы оптимальной конфигурации (по мощности и функциональности) для каждого конкретного потребителя. Это существенно удешевляет энергоустановки и их монтаж и делает их привлекательными для потребителей.

Предлагаемая программа, как указывалось выше, является междисциплинарной. Для ее реализации требуется объединение усилий химиков, физиков, механиков, энергетиков, математиков, материаловедов, специалистов по системам управления, кибербезопасности и др. В стране имеются соответствующие специалисты, ведутся многочисленные исследования в данной области. Однако они разбросаны по большому числу организаций различной ведомственной принадлежности и частных компаний и никак не координируются. Потребуются большие организационные усилия по формированию данной программы и координации ее дальнейшего выполнения. Специфика предлагаемой программы такова, что для нее трудно найти мощных промышленных партнеров. В этом заключается существенная сложность в ее подготовке.

При разработке программы следует учесть решения заседаний Совета по ПНТР «Энергетика»: от 18 октября 2018 г. с темой «Перспективные электрохимические технологии для распределенной энергетики»; от 29 ноября 2018 г. с темой «Научно-технические проблемы развития цифровой энергетики»; от 13 декабря 2018 г. с темой «Перспективные технологии возобновляемой энергетики».

Программа реализуется посредством конкретных проектов, которые могут быть объединены в следующие технологические направления.

1) Генерация электроэнергии, включая следующие проекты: отечественные микротурбины; фотопреобразователи нового поколения и солнечные электростанции на их основе; производство новых материалов для

фотопреобразователей; низкотемпературные топливные элементы и материалы для них; высокотемпературные топливные элементы и материалы для них; топливные препроцессоры; роботизированные технологии сборки топливных элементов.

2) Аккумуляция электроэнергии, включая проекты: литий-ионные аккумуляторы нового поколения и материалы для них; пост-литиевые электрохимические системы и материалы; технологии длительного хранения энергии («водородный цикл», включая технологии электролиза воды и аккумуляции водорода); роботизированные технологии сборки электрохимических аккумуляторов.

3) Цифровые системы управления, электротехника и силовая электроника, включая проекты: технические средства управления технологиями РГ и микро-грид (электротехника и силовая электроника); информационные технологии РГ и микро-грид (включая цифровое управление энергорынком РГ); кибербезопасность энергетических технологий и систем.

4) Гибкие платформенные решения РГ – синтез конечных технических продуктов программы, включая следующие проекты: комбинированные технологии; гибриды машинных и электрохимических технологий; интеграция органических топлив и ВИЭ.

В стране есть значительное количество организаций, имеющих соответствующие компетенции, которые могут стать исполнителями данных проектов. В частности, это ОИВТ РАН, ИОНХ РАН, ИФХЭ РАН, ИПХФ РАН, МГУ, Сколтех, ИВТЭ УрО РАН, ИХТТ УрО РАН, Курчатовский институт, ИНХС РАН, ИК СО РАН, ИНХ СО РАН, ИХТТМ СО РАН, ЦНИИ судовой электротехники и технологии Крыловского государственного научного центра, АО «Уралэлемент», АО «НЭВЗ-Керамикс», ООО «Лиотех», ПАО «Сатурн», МЭИ, Саратовский университет, ИПУ РАН, АО «РТСофт», ПАО «Россети», ИНЭИ РАН, ИСЭМ СО РАН и др.

Одним из ведущих промышленных партнеров программы может выступить АО «Группа компаний ИнЭнерджи», которая проводит активные исследования в области распределенной генерации. В процессе разработки программы состав проектов, исполнителей и промышленных партнеров будет уточняться.

При реализации данной программы будет использоваться широкий спектр «сквозных» технологий, включая большие данные, новые производственные технологии, новые и портативные источники энергии, технологии беспроводной связи, сенсорика и компоненты робототехники, системы распределенного реестра, искусственный интеллект. Исключительно важными для кардинального снижения стоимости топливных элементов и электрохимических аккумуляторов являются разработки роботизированных технологий их сборки.

У технологий РГ имеются колоссальные преимущества, обусловленные их небольшой мощностью: легкая тиражируемость и высокий инновационный потенциал (высокая скорость модернизации), поскольку требуется меньше ресурсов и времени для разработки новой продукции, ее освоения и

производства. Большие масштабы производства однотипных элементов позволяют резко снизить их стоимость и повысить качество. Для этого нужны аддитивные технологии и роботы для их безлюдного изготовления.

Одна из важнейших задач программы состоит в том, чтобы сделать технологии РГ экономически конкурентоспособными с традиционными решениями, причем, в достаточно сжатые сроки.

Развитие распределенной генерации позволит уменьшить вводы новых генерирующих мощностей на крупных ТЭС, сократить объемы электросетевого строительства, снизить потери в электрических сетях. Технологии РГ имеют преимущества в сроках сооружения и заблаговременности инвестиций по сравнению с крупными ТЭС. Массовое внедрение РГ будет способствовать улучшению условий прохождения в электроэнергетической системе зимних максимумов электрической нагрузки.

Коммерческий потенциал программы будет дополнительно раскрываться через трансфер разработанных в ее рамках технологий на смежные быстрорастущие рынки огромной емкости: мобильной энергетики (электромобили, индивидуальный электротранспорт, автономные роботы и т.д.) и систем энергоснабжения портативных устройств (носимых гаджетов, автономных стационарных систем мониторинга и т.д.).

Для успешного развития распределенной генерации в стране необходимо устранить имеющиеся нормативно-правовые препятствия для поставок выработанной электроэнергии на розничный рынок и для участия электросетевых компаний в производстве и аккумулировании электроэнергии средствами.

Технологии распределенной генерации имеют огромный экспортный потенциал, особенно в развивающихся странах, где отсутствуют системы централизованного энергоснабжения и имеются большие ресурсы ВИЭ. Для его реализации нужна помощь государства в целях ускорения сертификации соответствующего оборудования за рубежом и поддержки выхода отечественных инновационных компаний на зарубежные рынки.

Проект программы «Газотурбинные технологии нового поколения для энергетики» (КНТП «Новые газотурбинные технологии»).

Основу российской электроэнергетики составляют тепловые электростанции (ТЭС). Их доля в суммарной установленной электрической мощности превышает 70% (188 ГВт) и в выработке электроэнергии – 65% (706 ТВт·ч в 2017 г.). На ТЭС размещено около 315 ГВт тепловых мощностей и годовой отпуск тепловой энергии потребителям достигает 2,5 млн ТДж (более 46% суммарного производства тепловой энергии в стране).

Продолжается тенденция на расширение использование природного газа на ТЭС. В настоящее время установленная электрическая мощность газовых ТЭС превышает 100 ГВт (64% мощности всех ТЭС). Согласно исследованиям, проведенным в ИНЭИ РАН, тепловые электростанции будут оставаться в России преобладающими в структуре генерирующих мощностей (как электрических, так и тепловых) на всю обозримую перспективу и потребление газа ими будет возрастать.

Особое беспокойство вызывает техническая отсталость эксплуатируемого на ТЭС оборудования и его высокий износ. В технологической структуре ТЭС преобладают паротурбинные установки (ПТУ), доля которых превышает 85%. В эксплуатации все еще остается много неэффективных ПТУ разработки первой половины прошлого века с очень низкими параметрами свежего пара (9 МПа и ниже). Доля прогрессивных парогазовых и газотурбинных установок (ПГУ и ГТУ) пока невелика – менее 15%, несмотря на интенсивный ввод их в последнее десятилетие. Причем, ввод осуществлялся преимущественно на основе импортного газотурбинного оборудования, доля которого в суммарной мощности сейчас превышает 64%. Около 46% установленной мощности всех газовых ПТУ страны (38 ГВт) находятся в эксплуатации более 40 лет. Они выработали свой ресурс и требуют незамедлительной замены. Еще 32% (почти 27 ГВт) мощностей приближается к этому рубежу. В совокупности это составляет 78% (65 ГВт). Особенно низким остается технический уровень угольной энергетики. В стране нет современных установок на суперсверхвысокие параметры пара, активно внедряемых во всем мире. По экологическим характеристикам отечественные угольные ТЭС значительно уступают передовым зарубежным станциям.

Важной особенностью отечественной электроэнергетики являются большие масштабы использования теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), доля которых достигает 50% в установленной мощности ТЭС, приближаясь к 90 ГВт. По энергоэффективному теплофикационному циклу ежегодно вырабатывается около 200 млрд. кВт·ч электроэнергии (29% общей выработки ТЭС). Однако произошедший обвал в потреблении тепловой энергии, в первую очередь круглогодичной паровой нагрузки из-за снижения объемов промышленного производства и изменения его структуры, негативно сказался на эффективности работы ТЭЦ. С 1990 г. по настоящее время потребление тепловой энергии сократилось в 1,6 раза, в том числе производимой ТЭЦ – в 1,7 раза. Поэтому ТЭЦ вынуждены работать с низкой загрузкой оборудования и в неэкономичном для них конденсационном режиме.

Коэффициент использования установленной электрической мощности ТЭЦ в настоящее время составляет около 47%, а тепловой – 21%. В неэффективном конденсационном режиме вырабатывается практически половина электроэнергии ТЭЦ, что ведет к снижению эффективности использования топлива – главному преимуществу ТЭЦ. Сейчас на отечественных ТЭЦ она составляет всего 68%, в том числе 70% на газовых ТЭЦ и 62% на угольных ТЭЦ. На станциях малой и средней мощности она еще ниже. Потому большинство ТЭЦ оказывается неконкурентоспособным станциям с раздельным производством электрической и тепловой энергии на базе современных ПГУ (с КПД 60-63%) и автоматизированных газовых котельных (с КПД 95% и выше).

Устаревшие мощности характеризуются низкой надежностью и большими затратами на ремонт. Длительные простои оборудования в ремонте снижают его загрузку. Все это в совокупности с низким КПД старого оборудования неизбежно ведет к повышению себестоимости производства электроэнергии и

росту ее цены для конечных потребителей. Из сказанного следует настоятельная необходимость продолжения модернизации электрогенерирующего оборудования ТЭС. В первую очередь это касается ТЭЦ, где эффект от модернизации будет наибольшим.

Модернизацию газовых ТЭС следует проводить на базе отечественного газотурбинного и парогазового оборудования. Исследования показали, что внутренний рынок страны достаточно большой для того, чтобы оправдать затраты на создание и организацию выпуска отечественных ГТУ нового поколения, конкурентоспособных с соответствующим зарубежным оборудованием. В период до 2035 г. для замены старого оборудования и покрытия прироста мощностей требуются ГТУ суммарной мощностью около 100 ГВт, в том числе малой мощности (25 МВт и менее) – 18 ГВт, средней мощности (25-100 МВт) – 41 ГВт и большой мощности (более 100 МВт) – тоже около 41 ГВт.

В России производятся газовые турбины малой мощности энергетического назначения. Некоторые из них вполне конкурентоспособные с лучшими зарубежными образцами. В частности, АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь) предлагает ГТУ электрической мощностью 25 МВт с КПД в простом цикле 37,2%, ресурсом до капитального ремонта 25 тыс. часов и назначенным ресурсом 100 тыс. часов, а также ГТУ мощностью 16 МВт с КПД 35,5% и аналогичными ресурсными характеристиками. На базе данных машин может начинаться техническое перевооружение ТЭЦ соответствующей мощности. Однако производимые в стране ГТУ меньшей мощности существенно уступают по многим параметрам продукции зарубежных конкурентов.

В то же время, в стране сложилось критическое положение с разработкой, производством и эксплуатацией энергетических газовых турбин большой и средней мощности. Поэтому принятые руководством ПАО «Силловые машины» меры по восстановлению на ОАО «ЛМЗ» проектирования и производства энергетических газовых турбин средней и большой мощности, в том числе на основе лицензий и сотрудничества с компанией Siemens (Германия), имеют принципиальное значение для модернизации и дальнейшего развития энергетики Российской Федерации и обеспечения ее технологической безопасности. При этом должно быть обеспечено полное воспроизводство в РФ всех высокотехнологичных узлов и деталей газотурбинных установок (ГТУ) мощностью 160 и 300 МВт, поставленных Siemens и ПАО «Силловые машины» и введенных в эксплуатацию на электростанциях России.

В результате реализации этих решений до создания и организации производства мощных отечественных ГТУ нового поколения, которые должны прийти на смену лицензионным ГТУ, потребности теплотехники РФ могут удовлетворяться производством ПАО «Силловые машины» мощных лицензионных ГТУ.

Для разработки отечественных ГТУ нового поколения, прежде всего средней и большой мощности, необходима государственная поддержка. Она может быть выражена в организации разработки соответствующей

комплексной научно-технологической программы полного инновационного цикла и ее финансировании на условиях государственно-частного партнерства.

Главным содержанием данной программы должны стать конкретные проекты по разработке, доводке в эксплуатации и освоению производства конкурентоспособных на отечественном и мировом рынке энергетических ГТУ нового поколения с параметрами, превышающими параметры, достигнутые ведущими мировыми производителями энергетического оборудования.

При разработке программы следует учесть решение заседания Совета по ПНТР «Энергетика» от 27 сентября 2018 г., на котором рассматривалась проблема «Развитие газотурбинных технологий в России». Целесообразно также принять во внимание основные положения и рекомендации «Концепции создания и возможные перспективные характеристики отечественных ГТУ и ПГУ нового поколения», подготовленной рабочей группой ведущих специалистов РАН, авиационного и энергетического газотурбостроения, образованной Бюро ОЭММПУ РАН 10 марта 2009 г.

Следует отметить, что научно-технический прорыв в отечественном газотурбостроении может быть обеспечен за счет рационального усложнения тепловой схемы ГТУ. В России накоплен большой практический опыт создания и эксплуатации ГТУ с промежуточным охлаждением воздуха и промежуточным подогревом рабочего тела.

В реальных условиях эксплуатации в пиковом режиме опробована прямоточная конструктивная схема ГТУ, максимально приближающая по массогабаритным показателям ГТУ усложненного цикла к одновальным простейшим ГТУ. Отечественной авиапромышленностью накоплен значительный опыт создания новых высокотемпературных авиационных двигателей с многокаскадными компрессорами и высокой степенью сжатия. Успешное конвертирование авиационных двигателей для работы в наземных условиях на электростанциях и компрессорных станциях магистральных газопроводов создают надежную основу для реализации передовых идей и научно-технических достижений отечественного авиадвигателестроения при разработке нового поколения российских ГТУ стационарного типа.

Мощная отечественная ГТУ нового поколения должна иметь КПД не ниже 46-48%, а КПД бинарной ПГУ на ее основе при работе на газе не менее 64-66%. Должна быть обеспечена возможность работы такой ГТУ, как в составе ПГУ, так и в пиковом и полупиковом режимах по простому циклу.

Достичь этих значений КПД возможно за счет совершенствования тепловой схемы ГТУ без увеличения температуры газа перед турбиной выше уровня примерно в 1700 °С, осваиваемого в настоящее время в перспективных зарубежных ГТУ и считающегося технически и экономически предельным.

Анализ мирового (ГТУ LMS-100, GT-24, GT-26) и отечественного опыта (ГТ-100-750, авиационные ГТД нового поколения) свидетельствует о том, что в качестве одной из наиболее перспективных схем новой отечественной ГТУ большой мощности следует рассматривать тепловую и конструктивную схему,

реализованную еще в 70-х годах прошлого века Ленинградским металлическим заводом в установке ГТ-100, и близкую к ней схему более поздней ГТУ LMS-100 фирмы General Electric. Турбоустановка ГТ-100 была в свое время признанным мировым лидером в газотурбостроении.

Ключевой проблемой, определяющей техническую возможность создания ГТУ со столь высокими показателями, является разработка высокотемпературной турбины высокого давления (ТВД) с начальной температурой газа не ниже 1600-1700 °С. Это требует создания соответствующих жаропрочных материалов и термобарьерных покрытий с большим рабочим ресурсом. Исключительно важными являются предложения ФГУП «ВИАМ» по разработке нового поколения высокотемпературных материалов и термобарьерных покрытий для перспективных энергетических ГТУ.

Для удовлетворения экологическим характеристикам перспективных ГТУ необходима разработка малоэмиссионных камер сгорания, обеспечивающих в «сухом» режиме работы выбросы NO_x и CO менее 20 ppm. Положительный опыт разработки таких камер сгорания имеется в ФГУП «ЦИАМ имени П.И. Баранова» и ОАО «ВТИ».

Создание высокотемпературной ТВД совместно с компрессором высокого давления (КВД) и камерами сгорания высокого давления целесообразно осуществить в кооперации с ПАО «Силловые машины» конструкторских бюро авиационной промышленности, ФГУП «ЦИАМ имени П.И. Баранова», ФГУП «ВИАМ», ОАО «ВТИ», ОАО «НПО ЦКТИ» им. И.И. Ползунова, МЭИ, МГТУ им. Баумана, других исследовательских и производственных организаций и университетов с использованием последних достижений авиационного газотурбостроения, материаловедения и опыта конвертирования авиационных газотурбинных двигателей для наземного применения. Возможна организация производства малогабаритных высокооборотных блоков ТВД-КВД на одном из заводов авиационной промышленности, например, АО «ОДК-Авиадвигатель».

В процессе формирования программы следует рассмотреть другие возможные направления совершенствования циклов и схем газотурбинных установок, в частности, предложения ЦИАМ по использованию в энергетике полузамкнутых схем ГТУ, предложенную ОИВТ РАН бескомпрессорную схему парогазовой установки с полным улавливанием CO_2 и др.

Для решения фундаментальных научно-технических проблем, связанных с разработкой ГТУ нового поколения, целесообразно широкое привлечение институтов РАН, отраслевых институтов и университетов. Представляется целесообразным предложить Отделению энергетики, механики, машиностроения и управления РАН осуществлять научно-методическое руководство разработкой и реализацией научной части программы.

Программа может быть реализована посредством следующих конкретных проектов:

- газотурбинные установки нового поколения средней и большой мощности;

- перспективные ГТУ малой мощности;
- газотурбинные и парогазовые установки на основе новых схем и циклов;
- низкоэмиссионные камеры сгорания для ГТУ нового поколения;
- новые жаропрочные сплавы и технологии изготовления турбинных лопаток;
- новые термобарьерные покрытия для «горячей части» ГТУ и технологии их нанесения;
- новые материалы и аддитивные технологии изготовления компрессорных лопаток;
- цифровые технологии проектирования ГТУ.

Представляется уместным предложить ПАО «Силловые машины» выступить в качестве одного из основных промышленных партнеров данной программы как организации реального сектора экономики, заинтересованной в использовании результатов, полученных в процессе реализации программы, а также принимающей в ней непосредственное участие. Целесообразным представляется присоединение к программе крупнейших отечественных электрогенерирующих компаний (ПАО «Интер РАО», ООО «Газпром энергохолдинг» и др.), а также ПАО «Газпром». Газотранспортная система страны является одним из крупнейших заказчиков газовых турбин. В эксплуатации находятся 254 линейных компрессорных станций, на которых установлено 3844 газоперекачивающих агрегатов общей мощностью 46,7 ГВт. Из них примерно 79% оснащено газотурбинным приводом.

В процессе разработки программы состав проектов, исполнителей и промышленных партнеров может быть уточнен.

При реализации данной программы будет использоваться широкий спектр «сквозных» технологий, включая новые производственные технологии, большие данные, сенсорика и компоненты робототехники. Разработанные в рамках программы новые материалы и технологии могут найти широкое применение в других отраслях экономики.

Следует отметить, что значительный внутренний спрос на энергетические ГТУ и обширные внешние рынки делают задачу разработки конкурентоспособных отечественных ГТУ экономически обоснованной, а требования обеспечения технологической независимости энергетики страны – еще и политически мотивированной.

Задержки с разработкой данного оборудования чреваты продолжением экспансии на российский рынок зарубежных ГТУ с соответствующими экономическими потерями для отечественных энергомашиностроителей и усилением технологической зависимости электроэнергетики страны от зарубежных поставщиков.

Необходимо стимулировать (преимущественно рыночными методами) использование в стране конкурентоспособного отечественного энергетического оборудования. Это обеспечит нашим энергомашиностроительным компаниям возврат средств, затраченных на освоение его производства, и позволит минимизировать сопутствующие экономические риски. Мультипликативные эффекты в смежных отраслях

экономики могут составить финансовую основу государственной поддержки развития отечественного энергетического газотурбостроения.

Разработка конкурентоспособных ГТУ расширит возможности страны по экспорту высокотехнологичной продукции, которая еще долго будет оставаться востребованной на мировых рынках, несмотря на развитие быстрыми темпами возобновляемой энергетики. Исследования ведущих экспертных центров показывают, что природный газ будет оставаться на многие десятилетия основным видом топлива в мировой энергетике. Бурное развитие ВИЭ ведет к разбалансированию электрических режимов в электроэнергетических системах. В результате ухудшаются условия работы традиционных электростанций. Режимы их работы становятся непредсказуемыми, уменьшается эффективность использования установленных мощностей, растет себестоимость производства электроэнергии. Для балансирования электрических режимов потребуются пиковые электростанции. Основная их масса будет базироваться на газовых турбинах.

Реализация двух представленных КНТП позволит создать прочную научно-технологическую основу для модернизации и дальнейшего устойчивого развития электроэнергетики страны на базе конкурентоспособных отечественных технологий, сохранить невозобновляемые природные энергоресурсы, расширить возможности отечественного энергомашиностроения по производству высокотехнологичной экспортной продукции, получить значительные мультипликативные эффекты в смежных отраслях экономики, наконец, обеспечить научно-технологическую независимость отрасли. Состав и характеристики разрабатываемых технологий обеспечат важную для долгосрочного развития отрасли высокую технологическую гибкость.

О.Е. Аксютин¹

Научно-технические проблемы добычи, транспортировки и переработки природного газа

Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья является приоритетом не только научного направления работ, но и приоритетом для обеспечения конкурентоспособности и экономической эффективности компаний.

ПАО «Газпром» является одним из крупнейших в мире поставщиков энергоресурсов, и его сегодняшнее положение достигнуто во многом благодаря широкому применению достижений научно-технического прогресса и использованию в своей производственной деятельности современных технических решений, основой для которых являются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. ПАО «Газпром» занимает первое место по запасам и объемам добычи природного газа. Фонд действующих скважин ПАО «Газпром» – более 7 тысяч. ПАО «Газпром» эксплуатирует уникальную по размерам и качественным параметрам газотранспортную систему протяженностью более 172 тыс. км (таким образом, ГТС ПАО «Газпром» может 4 раза опоясать Землю по экватору). Активно строятся морские газопроводы.

Для транспортировки газа используются более 250 компрессорных станций (мощность которых сопоставима с суммарной мощностью восьми крупнейших в мире атомных электростанций). С учетом ярко выраженной сезонной неравномерности спроса на газ в России обеспечивается развитие системы ПХГ.

Благодаря централизованному управлению, большой разветвленности, Единая система газоснабжения обладает существенным запасом прочности и эффективно обеспечивает бесперебойную поставку газа даже при пиковых сезонных нагрузках.

Я курирую в компании разработку и реализацию инновационной программы, перспективное развитие, природоохранную деятельность и научно-исследовательские работы. Успешная реализация этих направлений не возможна без фундаментальных научных исследований.

Научно-техническое сотрудничество компании ПАО «Газпром» с Российской академией наук ведет отсчет с апреля 2002 года, когда на совместном заседании Правления ПАО «Газпром» и Президиума Российской академии наук была принята программа фундаментальных и прикладных исследований институтов РАН по приоритетным проблемам развития добычи газа в стране (рис. 1). В то время к выполнению программы были привлечены несколько десятков научных коллективов Академии.

В 2005 году партнерские отношения между ПАО «Газпром» и Российской академией наук были закреплены Соглашением о научно-техническом

¹ Член Правления, начальник Департамента ПАО «Газпром», член-корреспондент РАН

сотрудничестве. Был создан Координационный совет по научным исследованиям, в рамках деятельности которого рассмотрены ключевые документы развития газовой отрасли.

ПАО «Газпром» на постоянной основе привлекает ученых Российской академии наук. В составе Научно-технического совета ПАО «Газпром» 13 академиков, 5 членов-корреспондентов РАН.

В настоящее время Программой инновационного развития ПАО «Газпром» определены научно-технические приоритеты, охватывающие всю производственную цепочку: от поиска и разведки, добычи, транспортировки, хранения, переработки и использования газа (рис. 2).

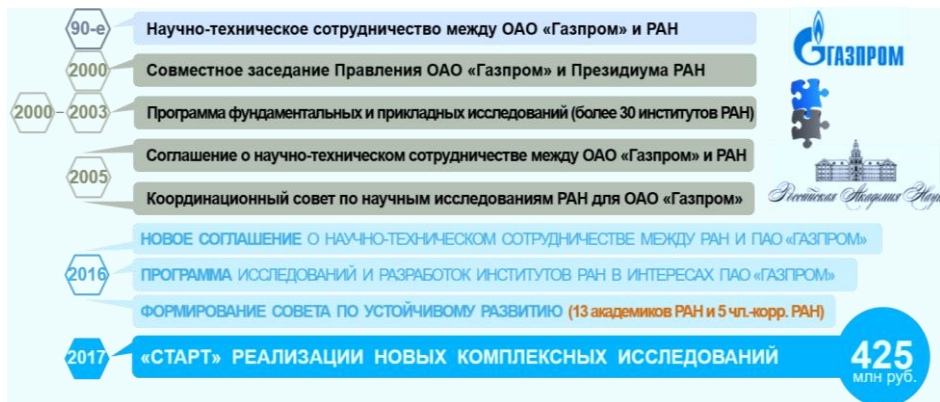


Рис. 1. Взаимодействие ПАО «Газпром» и РАН



Рис. 2. Программа инновационного развития ПАО «Газпром»

В качестве текущих задач, требующих научно-технических решений, хотелось бы выделить следующие (рис. 3):

- обеспечение максимального извлечения газа на месторождениях с падающей добычей,
- экономически эффективные технологии освоения месторождений с трудноизвлекаемым газом (метан угольных пластов, ксенон и др.),

– выявление закономерностей распространения пород-коллекторов газа в древних отложениях и создание новых технологий разработки многопластовых газовых месторождений.

Указанные направления позволят значительно совершенствовать добычу газа, повысить ее эффективность, вовлечь в экономику ресурсы, которые остаются сейчас в недрах.

С учетом того, что ПАО «Газпром» занимает первое место в мире по протяженности газотранспортной системы приоритетным является изучение металлургических аспектов надежности газопроводных систем (рис. 4). Мы занимаемся этим многие десятилетия, но нужны новые инновационные подходы.

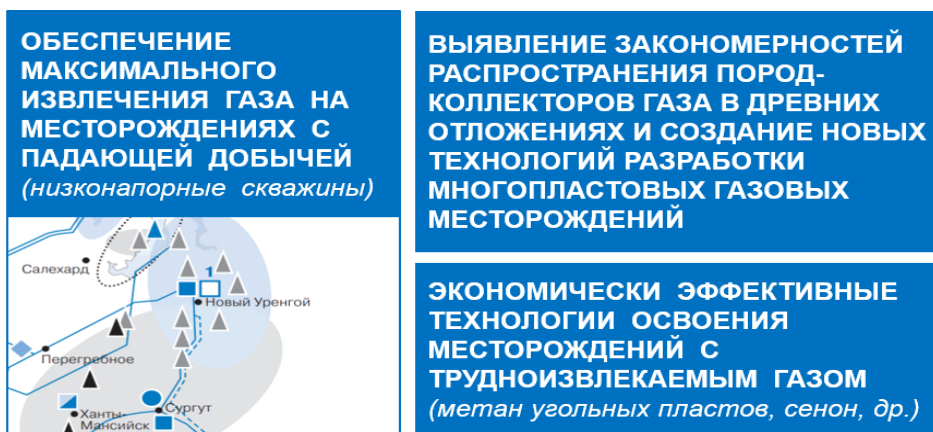


Рис. 3. Текущие задачи, требующие научно-технических решений



Рис. 4. Актуальные научно-технические проблемы

Свое присутствие на мировом газовом рынке ПАО «Газпром» планирует наращивать за счет оптимального сочетания поставок трубопроводного газа и СПГ. Поэтому как никогда актуальны новые материалы и оборудование для

производства СПГ. Пока в этой области наше отечественное производство отстает, но наука может дать соответствующий посыл для развития данной отрасли.

Учитывая наличие месторождений с высоким содержанием серы, для нас важным является создание энергоэффективных технологий очистки природного газа и продуктов его переработки от сераорганических соединений и кислых компонентов (рис. 5). Именно вопросы извлечения и использования серы являются лимитирующими для развития Астраханского и Оренбургского месторождений. Развитие таких технологий является также залогом экологической безопасности сероводородсодержащих месторождений.

Как для любой энергетической компании для ПАО «Газпром» важным направлением является энергосбережение. Значительный потенциал имеют инновационные технологии использования «вторичных» энергетических ресурсов (рис. 5), а именно использование тепла отходящих газов компрессорных станций и перепада давлений в трубопроводах. С учетом количества газотурбинных агрегатов, применяемых в транспорте газа, и газораспределительных станций, масштаб внедрения и тиражирования подобных технологий огромен.



Рис. 5. Актуальные научно-технические проблемы

Особое внимание я хотел бы обратить внимание на вопросы переработки газа (рис. 6). Освоение газовых ресурсов Восточной Сибири и строительство «Силы Сибири» позволило начать реализацию крупнейшего в России проекта по переработке газа. ПАО «Газпром» приступил к созданию Амурского ГПЗ.

Вместе с тем в настоящее время существует очевидный разрыв между теоретической наукой и практическим использованием (внедрением). Виден явный дефицит опытно-экспериментальной базы и инфраструктуры внедрения. Имеется отставание в моделировании процессов.

Именно здесь – одна из самых перспективных областей с точки зрения разработки и применения российских технологий – импортозамещение.



Рис. 6. Проблемы отсутствия отечественных технологий переработки газа

Ключевыми направления научно-технического развития в области глубокой переработки газа являются (рис. 7):

- новые технологии выделения компонентов природного газа (гелий, этан, пропан и т.д.). Сейчас вводимые в эксплуатацию месторождения богаты содержанием многих компонентов, и для нас приоритетом является рациональное использование всех составляющих добываемого газа;

- инновации в производстве традиционных и новых продуктов переработки природного газа. Природный газ – хорошая основа для производства метанола, диметилэфира, полимеров, пластиков и других производных;

- экономически эффективные технологии «газ в жидкость» (GTL). Данный продукт имеет большой потенциал на рынке. Он отличается высокой экологичностью. Но нужны отечественные научные разработки в данной сфере.



Рис. 7. Научно-технические проблемы в области глубокой переработки газа

Цифровые технологии уже являются неотъемлемой частью нашего мира, и лидерство компании невозможно без внедрения автоматизированных и интеллектуальных систем контроля и управления. В настоящее время актуальными направлениями в данной сфере являются (рис. 8):

- создание моделей и выполнение экспериментальных исследований процессов, протекающих в природной среде;
- разработка программного обеспечения для обработки и интерпретации геолого-геофизических данных и т.д.

Данные разработки будут содействовать созданию виртуальных обликов производственных объектов, которые ускорят процессы создания новых образцов техники, проектирования и строительства.

К научно-техническим задачам среднесрочной перспективы относятся (рис. 9):

- технологии получения метано-водородных смесей без выделения CO_2 (крегинг, пиролиз метана, плазмохимия). Метано-водородное топливо является новым низкоэмиссионным продуктом. Мы уже активно обсуждаем его применение с европейскими партнерами, что позволит использовать имеющуюся газовую инфраструктуру и значительно снизить выбросы энергетики;
- адсорбционные технологии хранения и транспортировки газа (металлоорганические структуры, сорбенты на основе углей, торфа, графена и т.д.). Подобные технологии позволяют значительно оптимизировать процесс хранения, но требуется повышение сорбционной емкости таких хранилищ и снижение стоимости сорбента;
- создание цифровых моделей месторождений и подземных хранилищ газа (наличие таких моделей будет неотъемлемым требованием геологических работ в ближайшем будущем);
- мембранные технологии подготовки жирного газа к транспортировке на (особенную актуальность эта тема приобретает при разработке новых месторождений Западной и Восточной Сибири).

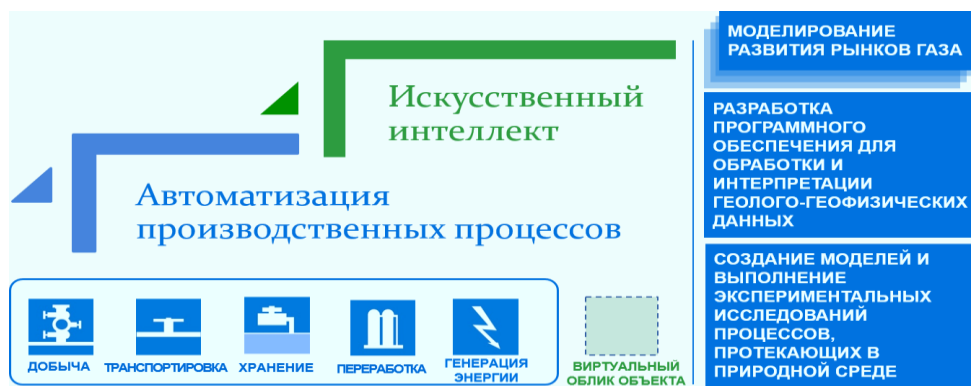


Рис. 8. Ускорение процессов создания новых образцов техники, проектирования и строительства

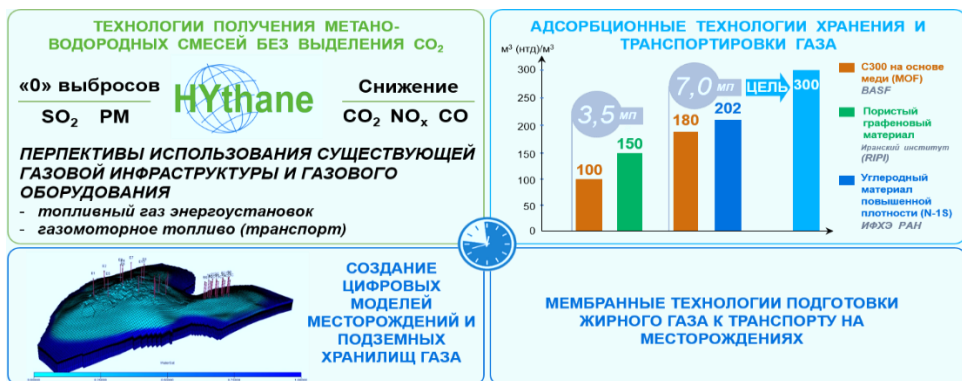


Рис. 9. Научно-технические задачи среднесрочной перспективы

К перспективным поисковым работам, требующим участия РАН, на наш взгляд относятся (рис. 10):

- технологии освоения месторождений Арктики, Восточной Сибири, на континентальном шельфе. Это не просто научная, но и стратегическая задача развития страны;
- создание интеллектуальной системы оперативного геолого-технологического мониторинга, перспективного планирования и управления производственной деятельностью. Без развития искусственного интеллекта отрасль обречена на отставание. Мы будем активно содействовать внедрению подобных интеллектуальных систем.



Рис. 10. Перспективные поисковые работы, требующие участия РАН

Научно-техническое партнерство РАН и ПАО «Газпром» позволяет успешно реализовывать результаты фундаментальных исследований в разработках прикладного характера.

Мы рассчитываем, что участие академической науки в решении научно-технических проблем добычи, транспортировки и переработки газа позволит получить значимый синергетический эффект в целях устойчивого развития научного комплекса и энергетического сектора России.

А.М. Кашин¹

Распределенная энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем

Прошедшие 20-25 лет можно отнести к эпохе информационных технологий, преобразивших современный мир. Косвенно это подтверждается тем, что сейчас на мировом рынке крупнейшие по капитализации компании – это компании, работающие в сфере информационных технологий. На наш взгляд, следующие десятилетия можно будет назвать – эпохой энергетики.

Энергетика меняется радикально, она изменит мир и происходит это будет на фоне смены технологического уклада. И для нашей страны, нашей экономики, нашей науки и технологий, жизненно важно принять в этом активное участие, занять лидирующие позиции, в том числе в формировании вектора и глобальных траекторий развития. Нам жизненно необходимо переломить ситуацию, в которой все чаще при рассмотрении уровня развития технологий на карте мира выделяются страны Северной Америки, Европы, Азии, а Россию относят к третьим странам.

Масштабный технологический сдвиг, происходящий в глобальной экономике, во многом связан с переходом к активному использованию электрохимических технологий в энергетике, транспорте, портативных устройствах. Взаимосвязанными магистральными направлениями являются:

- повышение эффективности использования топлива и снижение экологической нагрузки на окружающую среду;
- развитие распределенной генерации во взаимосвязи с централизованной, возобновляемые источники энергии и накопители энергии;
- электрический транспорт;
- повышение персональной мобильности и мобильности в рамках инфраструктуры.

И весомая роль в их реализации отводится электрохимическим технологиям, которые обоснованно можно отнести к категории «сквозных». Источники энергии, разрабатываемые на их основе, находят применение практически во всех областях современной техники и экономики.

В СССР электрохимическая наука была одной из сильнейших в мире. В современной России сохранилась сильная электрохимическая школа, позволяющая разрабатывать передовые технологии в области химических источников тока. Наличие высококвалифицированных научных и инженерных кадров, недооцененных на постсоветском пространстве, достаточно емкий внутренний рынок, географическое многообразие, хорошая конъюнктура для экспорта продуктов и технологий – все это создает благоприятные предпосылки для возрождения высокотехнологичной отрасли электрохимических технологий и ее успеха на глобальных рынках.

И, сложившаяся в настоящее время, геополитическая напряженность должна способствовать тому, чтобы задача возрождения и развития этой

¹ Председатель совета директоров АО «Группа компаний «ИнЭнерджи»

инновационной технологии, за которой, несомненно, будущее, обрела должное внимание в общегосударственном масштабе. В конкурентное преимущество необходимо обратить имеющую место в настоящее время недооцененность нашей науки, наших кадров, их невостребованность. По нашим оценкам стоимость комплексного инновационного цикла до первой коммерциализации в электрохимических технологиях, учитывая имеющийся задел и эффект низкой базы, радикально ниже, чем в развитых странах. Нужно не упустить возможность реализовать эту благоприятную ситуацию.

Основной темой доклада является предложение к концепции комплексной научно-технической программы (КНТП) «Распределенная энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем», структура которой представлена на иллюстрации (рис. 1), с акцентом на определенную часть концепции – Проект «Электрохимия», а в ней – на Направление «Генерация».



Рис. 1. Концепция КНТП «Распределенная энергетика», Проект «Электрохимия»

В Проекте «Электрохимия» направление «Накопители», являющееся наиболее зрелым, представлено на рынке различного типа высокотехнологичными электрохимическими накопителями электроэнергии, в первую очередь, литий-ионными аккумуляторами, проточными редокс-батареями, перспективными металл-ионными аккумуляторами. Направление обладает большим рыночным потенциалом, и имеющийся задел еще не поздно обратить в рыночный продукт.

Для Направления «Топливо» опорным рынком является нефтегазовый сектор экономики – добыча, транспортировка и переработка нефтегазового сырья. В России есть все необходимые возможности и большой внутренний рынок для развития технологий от ранних стадий до масштабного производства.

Направление «Системы управления и силовая электроника»: эти устройства – неперенная составная часть энергетических систем, будь то парогазовая установка или энергоустановка с топливными элементами.

Ключевая часть доклада относится к взаимодействию с РАН и некоторыми другими научными учреждениями, к сложившейся модели кооперации. Благодаря сотрудничеству с институтами РАН, «ИнЭнерджи» стала той компанией, которой является в настоящий момент. И, хотя наша компания еще далеко не того масштаба, какого нам бы хотелось ее видеть, мы убеждены в скорой реализации наших ожиданий. Залог нашей уверенности – опора на сильную, мирового уровня, но существенно недооцененную науку. На данный момент мы можем себе позволить работать с ведущими исследователями в этой области гораздо эффективней, чем наши зарубежные коллеги в силу того, что эти исследовательские группы, институты на текущий момент просто недооценены.

Подобную модель взаимодействия мы называем сетевидной.

На иллюстрации (рис. 2) показана структура распределенного центра исследований и разработок ГК «ИнЭнерджи», которым, по сути, является созданная модель.

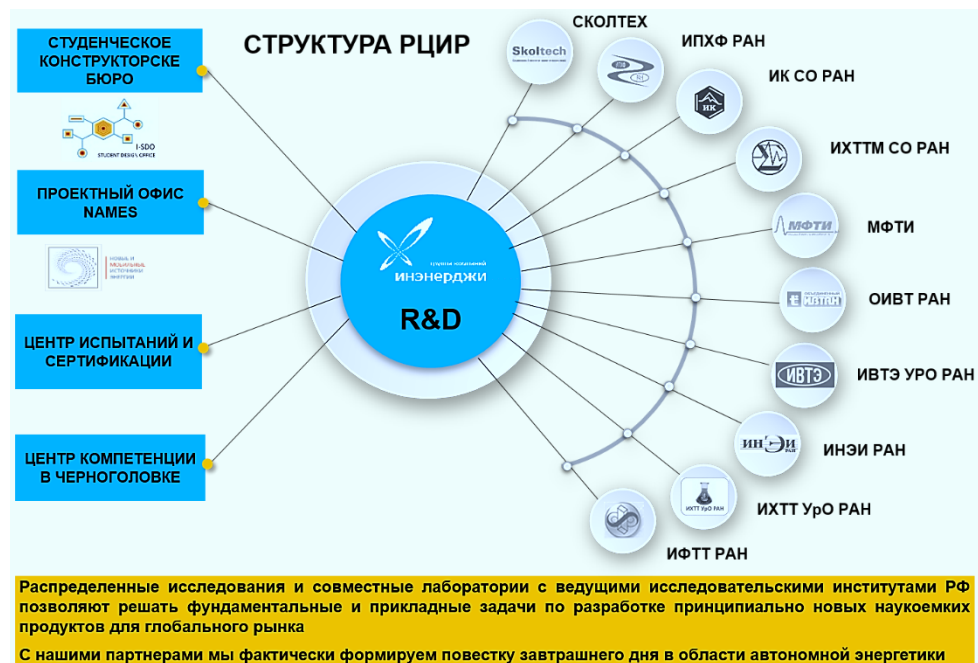


Рис. 2. Распределенный центр исследований и разработок ГК ИнЭнерджи

Самое тесное и широкое взаимодействие у нас сложилось с Институтом проблем химической физики (ИПХФ). Совместно с директором института, академиком С.М. Алдошиным и проф., доктором химических наук Ю.А. Добровольским создавалась и реализовывалась данная модель на практике. Ключевым звеном в ней являются Совместные лаборатории. У каждой Совместной лаборатории есть свой круг задач и коллектив, состоящий из сотрудников обеих сторон, который и решает весь комплекс поставленных перед лабораторией задач: начиная от фундаментальной науки и заканчивая рынком. По сути, в такой структуре мы обеспечиваем комплексное решение задачи на пути от чисто научных исследований к рынку. С одной стороны, мы занимаемся маркетингом научных идей, а, с другой стороны, мы, понимая куда движется рынок технологически, и какие на нем есть возможности и потребности, формируем, так называемую «технологическую шину», на которой группы исследователей, работающие в узких областях, способны увидеть свое место. И не просто увидеть, а осознанно предложить направления работ и конкретные тематики, конкретные проекты, которые лягут в основу конечного продукта, в основу новой технологической платформы.

Далее перечислены тематики Совместных лабораторий, созданных на базе 10 представленных на иллюстрации (рис. 2) институтов:

- ИПХФ РАН – катализаторы и твердополимерные мембраны топливных элементов, энергоустановки с протонообменными полимерными топливными элементами (ПОМТЭ) различного назначения и мощности, проточные редокс-батареи, первичные источники тока, в том числе специального назначения;

- ИК СО РАН – топливные процессоры риформинга углеводородных топлив для энергоустановок с топливными элементами;

- ИХТТМ СО РАН – микроканальные твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ);

- МФТИ – энергоустановки с топливными элементами для арктического применения;

- ОИВТ РАН – гибридные энергоустановки, сочетающие возобновляемые источники энергии с электрохимическими генераторами, локальное производство топлив, системы управления распределенной генерацией;

- СКОЛТЕХ – электрохимия, проточные редокс-батареи, пост-литиевые аккумуляторы;

- ИВТЭ УрО РАН – протонкерамические топливные элементы и энергоустановки на их основе;

- ИНЭИ РАН – анализ, определение направлений развития технологий и рынков;

- ИХТТ УрО РАН – первичные источники тока, высоковольтные электролиты, спецтехника;

- ИФТТ РАН – планарные ТОТЭ.

В Черноголовке действует созданный на базе ИПХФ РАН Центр компетенций по технологиям новых и мобильных источников энергии Национальной технологической инициативы (НТИ), занимающийся развитием сквозных технологий. Активное участие мы принимаем в работе

еще одной структуры НТИ – Проектного офиса «Новые и мобильные источники энергии» (NAMES). Действует у нас и Студенческое конструкторское бюро, в котором студенты МФТИ, МЭИ и МАИ занимаются проектами ранних стадий разработки. Создан Центр испытаний и сертификации, необходимый в нашей практической деятельности.

Такой распределенный центр исследований и разработок, на наш взгляд, уникален для российских условий. Отдельно необходимо подчеркнуть, что возможность организовать эффективный цикл исследований и разработок в российских условиях, благодаря взаимодействию с Российской академией наук, является ключевым конкурентным преимуществом «ИнЭнерджи». Такая модель достойна того, чтобы ее масштабировали, в том числе, в рамках комплексных научно-технических программ.

Что касается комплексности реализации проекта на пути от научного исследования до выхода на рынок, то для решения этой задачи необходимо отчетливо понимать структуру добавленной стоимости – от начала разработки до производства, от сырья до конечного продукта. А понимая структуру добавленной стоимости производимых и разрабатываемых продуктов, мы обязаны влиять на глобальные технологические траектории. Если мы можем рассчитать стоимость жизненного цикла до того, как приступили к разработке продукта, если мы понимаем удельные затраты и другие ключевые характеристики, мы способны создать глобальную модель, которая позволит нам сформировать эту цепочку от науки до рынка.

Проведенная нами аналитическая работа позволила определить ясный вектор развития, в том числе на долгосрочный – до 2040 г. и среднесрочный – до 2025 г. периоды. И этот вектор учитывает необходимость воссоздания направления электрохимических технологий – части энергетической промышленности, жизненно важной для развития малой и распределенной энергетики. Стоит отметить, что все необходимое для этого у нас есть.

Глобальный рынок электрохимических технологий еще только формируется, он еще не очень большой, и, если правильно выбрать направления и сосредоточиться на решении поставленных задач, здесь мы действительно можем говорить об импортоопережении. Еще одно преимущество и его сложно переоценить – на текущем этапе мы вольны выбирать – какую часть добавленной стоимости на протяжении всего цикла создания продукта нам выгодно оставить за собой.

Находясь в условиях внешних ограничений, мы вынуждены детально разбираться во всей цепочке добавленной стоимости. В результате получилась очень стройная непротиворечивая модель, проверенная на практике, которая показывает, что мы действительно обладаем конкурентными преимуществами благодаря тому, что зарубежные коллеги, нас пока опережающие, работают в других условиях. У них есть хорошо сформировавшиеся узкоспециализированные коллективы, отвечающие за свои локальные задачи. Конкуренция там безусловно выше, как и стадия зрелости на сегодня, но, за счет более правильного и более глубокого понимания проблемы на ранних рынках, у нас есть шанс, опираясь на науку, сделать рывок.

Динамика мировых рынков подтверждает глобальный характер происходящих изменений:

- наблюдается устойчивая тенденция роста ввода в эксплуатацию энергоустановок с ТЭ – с 37 МВт в 2007 г. до 710 МВт за 2017 г., т.е. в 18 раз;
- Всего за период 2007–2017 гг. в мире было введено в эксплуатацию более 2.4 ГВт таких установок;
- стремительно растет спрос на транспортные ТЭ – с 6 МВт в 2007 г. до 456 МВт в 2017 г., т.е. в 75 раз.

Странами-лидерами в данной отрасли являются: США, Япония, Европа и Китай. В каждой из этих стран есть система государственной поддержки (рис. 3) и одной из задач данного доклада является стремление объединить усилия в формировании подобной системной поддержки.

На рис. 3 также показаны бюджеты, которые странами-лидерами в электрохимических технологиях – США, Японией, Западной Европой, Китаем потрачены на развитие рынка технологий топливных элементов, чему в определяющей мере способствует эффективная система государственной поддержки.

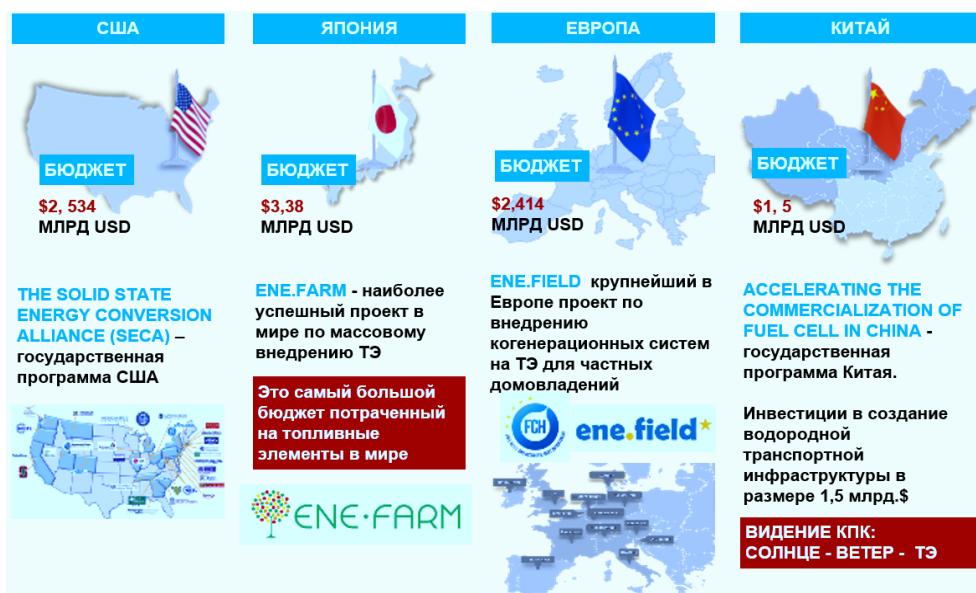


Рис. 3. Программы господдержки инновационных технологий

Самое большое финансирование на развитие технологий топливных элементов получил государственно-частный проект в Японии – ENE.FARM, бюджет которого составил \$3,38 млрд. Ключевыми участниками проекта стали TOKYO GAS, PANASONIC, TOSHIBA, AISIN SEIKI. Благодаря преференциям, выраженным в субсидировании покупок энергоустановок с топливными элементами конечными пользователями, формируется рыночная ниша, стимулирующая разработку и организацию производства таких

энергоустановок. В домохозяйствах Японии уже эксплуатируется 230 000 когенерационных энергоустановок с ТОТЭ и с ПОМТЭ, к 2020 году планируется повысить общее число энергоустановок до 1,4 млн., а к 2030 году – до 5,3 млн., что позволит оборудовать ими около 10% всех домохозяйств в Японии. Организован экспорт энергоустановок в страны Западной Европы, где также осуществляется меры государственной поддержки потребителям этой продукции.

Бюджет европейского проекта ENE.FIELD составляет \$2,414 млрд., в США на программу SECA (The solid state energy conversion alliance) выделено \$2,534 млрд. Интересным аспектом для аналитики стало изучение программных документов КПК: более 10 лет назад руководство Китая постановило заниматься фотовольтаикой. У многих это сначала вызвало усмешку. Говорили, что в Европе над этим работает много коллективов и фирм, куда там Китаю. Но оказалось, что сегодня Китай занимает первое место в производстве и использовании солнечных элементов. С ветроэнергетикой ситуация аналогичная, а 2 года назад китайцы решили посмотреть в сторону электрохимии, в особенности в сторону накопителей и топливных элементов. И вот, в государственную программу ускорения развития и коммерциализации топливных элементов в Китае (Accelerating the commercialization of fuel cell in China) инвестировано уже около \$1,5 млрд. Здесь также ожидается рывок. А что мы этому готовы противопоставить?

Для нас очень полезно использовать положительный опыт этих стран. Мы детально проанализировали организацию разработок и механизмы продвижения продукции на рынок, разобрались в структуре консорциумов, создающих эти передовые технологии, в распределении ролей в них. Это понимание, соединенное с нашим опытом реализации пилотных проектов, в определенной степени легло в основу разработанной нами Комплексной научно-технической программы «Распределенная энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем».

Касательно траекторий продвижения продукции на рынки, для энергоустановок с топливными элементами основными глобальными рынками являются рынки портативных зарядных устройств, стационарных энергоустановок для домохозяйств и распределенной энергетике, энергоустановок транспортного назначения, на каждом из которых присутствуют категории потребителей, занимающие рыночные ниши различной емкости, для каждой из которых критерии удовлетворения спроса различаются.

Допустим, производителем разработана базовая энергоустановка (платформа), удовлетворяющая по основным техническим характеристикам требованиям потребителей глобального рынка и позволяющая адаптировать ее под специфические требования конкретной группы потребителей. Как вывести эту платформу на рынок? Для этого надо выполнить ряд условий, первое из которых – базовое понимание этих условий.

Для вывода на глобальный рынок высокотехнологичной продукции на ранних стадиях ее производства, характеризующихся высокой

себестоимостью, нужны соответствующие промежуточные рынки ранних стадий. Те, на которых можно получить ярко выраженный экономический эффект сегодня. Пусть это будут небольшие ниши, пусть это пока будут ограниченные рынки – мы должны совместить видение глобального продукта и этапность разработки платформы, которую мы продвигаем на рынок.

Примером рынка ранней стадии в практике «ИнЭнерджи», в рамках применения энергоустановок с ТОГЭ, является рынок нефтегазовой отрасли. У нас есть несколько энергоустановок, эксплуатирующихся на магистральных трубопроводах ПАО «Газпром» и использующие природный газ в качестве топлива. Это позволило отказаться от строительства ЛЭП в полосе отчуждения газопровода и получить впечатляющий экономический эффект.

Да, это узконаправленный рынок, хотя и довольно емкий (речь идет о десятках и сотнях тысяч энергоустановок). Но, освоив этот рынок, усовершенствовав конструкцию и технологию, организовав крупносерийное производство и снизив стоимость изделий, можно, по примеру Японии и Западной Европы, выйти с этой платформой на гораздо более емкий рынок когенерационных энергоустановок для домохозяйств, где конкурентоспособная централизованному энергоснабжению стоимость существенно ниже.

На сегодня очевидна слабая скоординированность технологической политики в государственном масштабе, в том числе в той предметной области, которую мы сейчас рассматриваем. Но есть отчетливое понимание, как ее нужно скоординировать.

В первую очередь, это решение таких задач, как – формирование системной государственной поддержки от рынков в науку через инжиниринг, комплексность реализации проектов, управление структурой добавленной стоимости и влияние на технологические траектории.

Ю.К. Петреня¹

Развитие газотурбинных энергетических технологий в России

Газ играет важнейшую роль в текущем и перспективном топливном энергетическом балансе России и многих стран, включая США и Европу. Повышение энергоэффективности обеспечивается применением газотурбинных энергетических технологий.

Обеспечение конкурентоспособности российской энергетики требует применения газовых турбин и парогазовых установок. Перспективный рынок этих технологий представляет большой интерес для российской промышленности, в том числе и для повышения ее экспортного потенциала. В России имеется опыт разработки и освоения газовых энергетических турбин, большой научный и промышленный потенциал для разработки газовых энергетических технологий конкурентного мирового уровня.

Отмечено, что развитие отечественных газотурбинных энерготехнологий – один из важнейших приоритетов обеспечения энергобезопасности и научно-технологического развития Российской Федерации.

Предложено реализовать комплексный научно-технологический проект полного инновационного цикла по данному направлению. Реализацию такого мультидисциплинарного в научном и прикладном плане проекта, координацию работ и кооперацию академической, отраслевой и вузовской науки с промышленностью предложено проводить под научно-методическим руководством РАН.

Газовая электрогенерация, энергобезопасность, перспективный рынок

Газотурбинные энергетические технологии являются одной из важнейших составляющих современной и перспективной энергетики. Это определяется ролью, которую играет газ в топливном энергетическом балансе, как России, так и ведущих стран Европы и США. В топливном энергетическом балансе России доля газа составляет порядка 50 %, в США и Европе – более 40% и 20% соответственно. Таким образом, эффективное использование газа в энергетическом оборудовании даже в настоящее время требует применения парогазового цикла [1-8].

Линейный прогноз на 35 лет на базе высоко достоверных данных за предыдущий период продолжительностью 70 лет (с 1965 года) показывает, что доля газа в мировом топливном балансе к 2070 году достигнет величины порядка 30% при одновременном росте новых генерирующих мощностей (рис. 1, табл. 1).

Суммарная мощность газовой электрогенерации в мире к 2035 и 2070 годам вырастет примерно в 2 и 4 раза соответственно по отношению к настоящему периоду, указывая на большой сегмент перспективного рынка для энергетического машиностроения.

¹ Заместитель генерального директора-технический директор ПАО «Силловые машины», член-корреспондент РАН

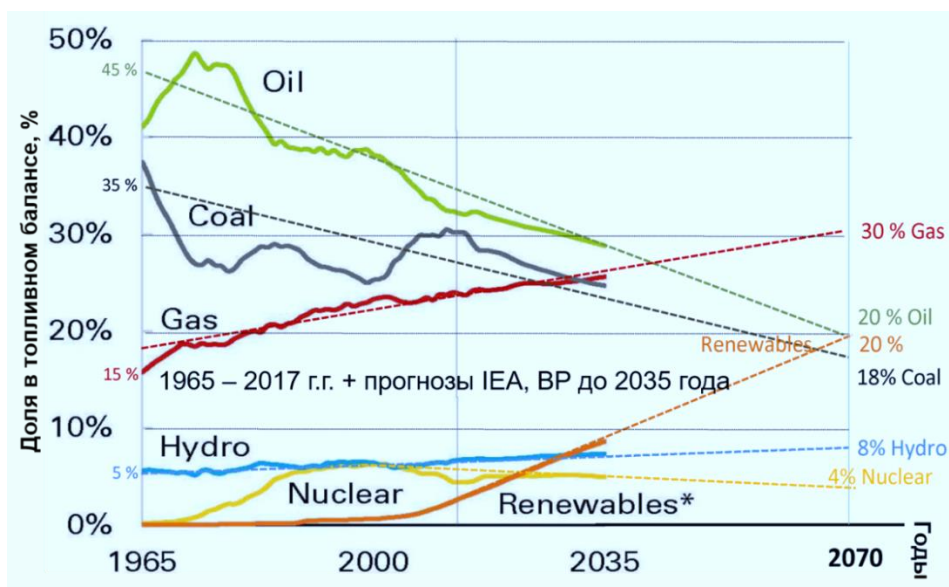


Рис. 1. Доля газа в мировом топливном энергетическом балансе

Таблица 1

Доля газа в мировом топливном энергетическом балансе
и мощность генерации по годам

Год	Доля газа в топливном балансе, %	Мощность газовой генерации, ТВт	Общая мощность, ТВт
1965	15	0.11	0.73
2015	23	1.29	5.6
2035*	26	2.49	9.6
2070**	30	4.38	14.6

* - прогноз IEA, BP; ** - линейный прогноз

Для получения своей доли на этом рынке российская промышленность должна предлагать конкурентоспособное оборудование и, в том числе, энергетические газовые турбины.

Если в 1965 году общая мощность газовой генерации в мире составляла 0,11 ТВт, а в 2015 году порядка 1,29 ТВт, то в 2035 и в 2070 годах составит 2,49 и 4,38 ТВт соответственно, то есть в мире имеется большой перспективный рынок для газотурбинных энергетических технологий [1-5, 9].

После проведения программы ДПМ в настоящее время 12 % энергетики России базируются на зарубежных газовых турбинах большой мощности и парогазовых установках на их основе, что создает существенные риски для

энергобезопасности страны. Эта проблема существенно обостряется на фоне санкционной и запретительной политики западных стран, которая проявилась при поставках газовых турбин в Крым [10].

Другим существенным риском для энергобезопасности России является технологическая монополизация рынка мощных газовых турбин. Разработчиками и производителями мощных газотурбинных установок (более 300 МВт) являются фактически только три компании – General Electric (Alstom стал частью General Electric), Siemens, Mitsubishi Heavy Industries [11-13].

Потенциально важной является роль газотурбинных энергетических технологий в перспективной энергетике ближайших десятилетий, когда произойдет переход от моноцелевых монотопливных электростанций к многоцелевым многотопливным энергохимическим комплексам. Ключевым элементом таких энергохимических комплексов будут являться газовые энергетические турбины большой мощности с высоким уровнем температуры на входе в турбину.

Российские энергомашиностроение и энергетика должны располагать конкурентоспособными газовыми турбинами и парогазовыми установками, которые позволят решить проблемы обеспечения энергоэффективности и энергобезопасности российской энергетике и обеспечить поставки на экспорт для мирового энергетического рынка.

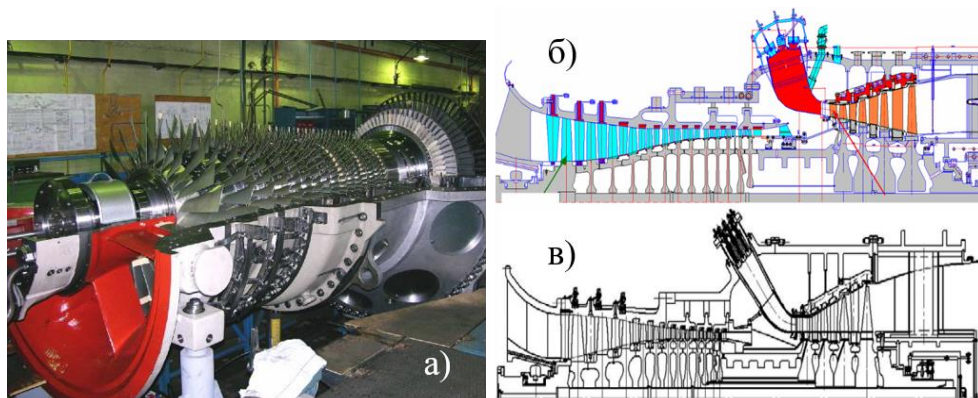


Рис. 2. Газовая энергетическая турбина ГТЭ-65 ПАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ» (а), проекты газовых турбин ГТЭ-180 ЛМЗ-ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ» (б) и ГТЭ-300 ПАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ» (в)

Газотурбинные энерготехнологии

В России имеется опыт разработки и освоения мощных газовых турбин. В 60-е – 70-е годы была разработана и освоена рекордная по мощности в 100 МВт газовая турбина ГТ-100 ЛМЗ. В последние десятилетия был получен опыт производства лицензионных газовых турбин Е-класса мощностью 160 МВт, разработки и испытаний в условиях станции газовой турбины ГТ-65, проекты турбин мощностью 180 МВт (ЛМЗ-ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ») и 170, 300 МВт (ПАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ») [14-17].

За последние 50 лет происходило постоянное развитие газовых энергетических турбин. Их единичная мощность выросла со 100 до более 500 МВт, коэффициент полезного действия парогазовых установок на их базе достиг 62 %. Классы газотурбинных энерготехнологий и температуры на входе в газовую турбину и на выходе газовой турбины представлены в табл. 1. Для J-класса температура на входе в газовую энергетическую турбину может достигать 1700 °С (табл. 2).

Газовые турбины по совокупности решений, объединенных в систему, являются одним из самых сложных технических объектов, которые создало человечество. Входной барьер в газотурбинные технологии является достаточно высоким, так как необходимы крупные инвестиции в фундаментальные и прикладные исследования, в опытно-конструкторские работы на этапе разработки, наличие школы проектирования высокого уровня и конструкторских наработок, серьезной технологической базы, развитой сервисной службы.

Таблица 2

Классы газотурбинных энерготехнологий

Класс газотурбинной технологии	Температура на входе в газовую турбину, °С	Температура на выходе газовой турбины, °С	Класс параметров КУ, паровой турбины в составе ПГУ
E	≤ 1150	500 – 540	SC (<i>SuperCritical</i>)
F	1150-1300	600	USC (<i>UltraSuperCritical</i>)
H	1300-1500	640	A-USC (<i>Advanced UltraSuperCritical</i>)
J	1500-1700	680	A-USC (<i>Advanced UltraSuperCritical</i>)

Комплексный инвестиционный научно-исследовательский проект

Вопрос о важности разработки отечественных мощных газовых турбин ставился Российской академией наук неоднократно.

В 2014 году обращение на эту тему академика В.Е. Фортова, Министра энергетики А.В. Новака и Министра промышленности и торговли Д.В. Мантурова было направлено Президенту РФ В.В. Путину, который поддержал данную инициативу. Ряд обращений в Правительство РФ и ведомства о важности для страны разработки и освоения газовых энергетических турбин были подготовлены и направлены академиком О.Н. Фаворским. Соответствующие рекомендации были выработаны Комиссией по газовым турбинам РАН, которую возглавляет член-корреспондент РАН Г.Г. Ольховский.

Важно также отметить недавние рекомендации по теме газовых энергетических турбин Совета РАН по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой

переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии», под председательством академика В.Е.Фортова. В РАН были разработаны предложения по модернизации тепловой энергетики страны, в том числе, такие как применение газотурбинной надстройки с паротурбинным блоком повышенной эффективности тепловой электростанции (патент на изобретение академика О.Н. Фаворского, члена-корреспондента РАН Ю.К. Петрени и др.).

Учитывая несомненную высокую актуальность и важность для безопасности и экономики страны наличия компетенций по мощным газовым турбинам, необходимо сформировать и реализовать комплексную научно-техническую инвестиционную программу (национальный проект) по разработке и освоению отечественных газотурбинных энергетических технологий.

В основе этого проекта должны лежать опережающие фундаментальные исследования и прикладные работы, позволяющие в сжатые сроки выйти на перспективный мировой уровень газотурбинных энергетических технологий (рис. 3).

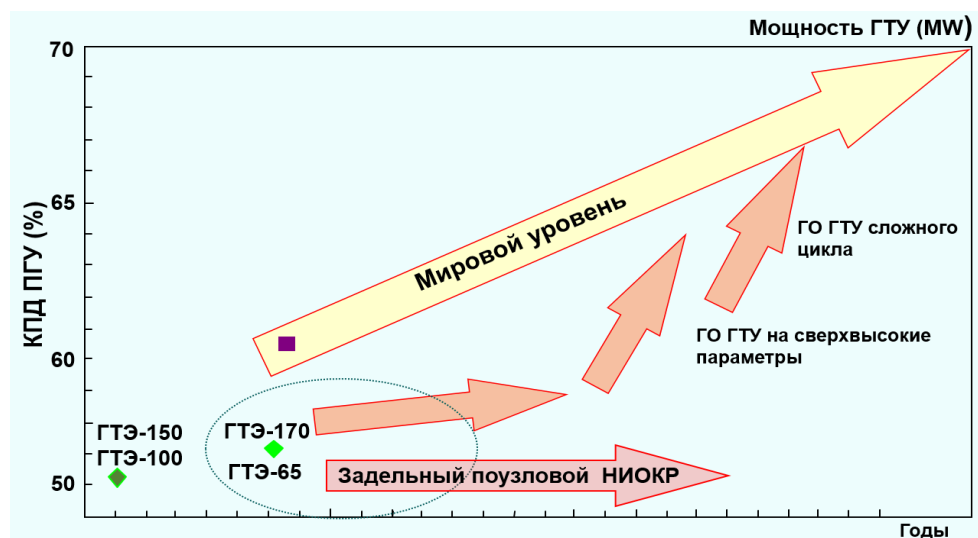


Рис. 3. Схема выхода на перспективный мировой уровень газотурбинных энергетических технологий на базе опережающих фундаментальных и прикладных исследований

Основными направлениями фундаментальных исследований являются аэродинамика различных узлов газовой турбины, позволяющая полным образом описать аэродинамические условия в компрессоре, в камере сгорания и турбине, в системах охлаждения на базе верифицированных кодов и программных комплексов.

К крупным направлениям фундаментальных исследований относятся также физико-химические и теплофизические процессы в камерах сгорания,

в том числе при использовании низкокалорийного синтез-газа с добавлением водорода и применении мембранных технологий. Создание газовых турбин на температуры до 1700 °С требует разработки перспективных материалов и функциональных покрытий для элементов горячего тракта, в том числе керамических материалов и аддитивных технологий.

Уменьшение финансовых и временных затрат требует развития методов решения связанных задач и сквозного суперкомпьютерного проектирования, обеспечивающего испытание и доводку газовой турбины большой мощности в виртуальном пространстве. Фундаментальные исследования по этим и другим необходимым направлениям могут быть выполнены силами академической и вузовской науки.

На следующем уровне детализации к областям фундаментальных исследований можно отнести следующие направления работ (подготовлены с участием Института теплофизики СО РАН) [18-21]:

Аэродинамика проточного тракта, обтекание компрессорных и турбинных лопаток, которые включают:

- численное моделирование и оптимизация трехмерной аэродинамики потока на основе верифицированных вычислительных кодов и программных комплексов,
- определение условий (и устранение) возникновения отрыва потока, нестационарных режимов, автоколебаний,
- снижение утечек воздуха через зазоры лопаток,
- аэродинамику, теплообмен и акустику входного аппарата (в том числе проблема обледенения),
- разработку и внедрение методов эффективного управления аэродинамикой потока на основе адаптивного локального воздействия и обратной связи с использованием методов машинного обучения.

Системы охлаждения, в том числе оптимизацию аэродинамики высокотемпературного потока, теплообмена и организация тепловой защиты с учетом трехмерности и нестационарности. Организацию эффективного теплоотвода с использованием микроканальных двухфазных течений.

Проблемы в камерах сгорания: аэродинамика, физико-химические процессы, все теплофизические аспекты, экология, эффективность:

- проработка мероприятий по снижению вредных выбросов и повышению эффективности сжигания топлива, в том числе организация беспламенного горения, внедрение катализаторов, паровая газификация, достижение сверхадиабатных температур, рекуперация тепла,
- проработка возможности организации горения синтез-газа (в том числе низкокалорийного),
- проработка решений для реализации горения с добавлением водорода, горения топлива в условиях частичного отделения азота из воздуха на входе в установку с использованием мембранных технологий,
- оптимизация аэродинамики высокотемпературного потока и режимов горения с учетом особенностей химического реагирования, трехмерности и нестационарности,

- разработка достоверных кинетических моделей химического реагирования при повышенном давлении и температуре,
- организация горения при значительном обеднении смесей (Dry Lean Premixed Prevarpoized): снижение пиковых температур, анализ условий возникновения виброгорения и срыва, дежурное пламя и горение с избытком воздуха в основном канале (концепция TAPS I, II, III),
- проработка управления нестационарными режимами при управлении подачей топлива,
- проработка других перспективных методов организации горения – Lean direct injection и др. (Low-swirl burner – снижение времени пребывания и выбросов NOx для бедных смесей (рис. 4),
- определение условий возникновения автоколебаний и термоакустического резонанса,
- разработка и внедрение методов эффективного управления смешением и горением на основе адаптивного локального воздействия и обратной связи с использованием методов машинного обучения.

Перспективные материалы для горячего тракта, керамика, аддитивные технологии.

Исследование (теплофизических) свойств и фазовой стабильности перспективных конструкционных материалов при высоких температурах.

Анализ эффективности использования функциональных (теплозащитных) покрытий.

Исследования тепломассообмена в процессе нанесения термобарьерных покрытий на поверхность лопаток из потока паров металлоорганических соединений (совместно с ИНХ СО РАН).

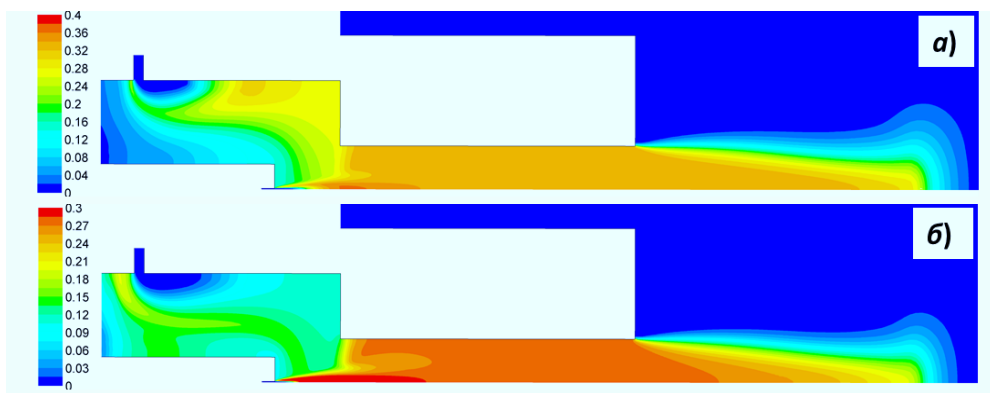


Рис. 4. Распределение объемной доли CO (а) и H₂ (б) в факеле (расчет)
(данные Института теплофизики СО РАН)

Сквозное суперкомпьютерное моделирование газовой турбины с целью уменьшения финансовых и временных затрат на проектирование:

- разработка и внедрение верифицированных вычислительных кодов и программных комплексов для достоверного компьютерного моделирования

термогазодинамики потока, теплообмена и горения с целью оптимизации работы газовых турбин и снижения вредных выбросов;

- проработка решений для реализации комбинированных циклов (впрыск пара и др.);

- оптимизация аэродинамики, теплообмена и горения, расширение и верификация расчетных кодов.

Получение фундаментальных результатов в этих областях возможно при применении современных экспериментальных методов лабораторных исследований, в том числе, разработанных и освоенных в Сибирском отделении РАН, в Институте теплофизики СО РАН.

В качестве примера, можно упомянуть такие методы, как методы измерения смесеобразования в камерах сгорания при высокоскоростной регистрации (в том числе в ИК и УФ диапазонах), методы машинного зрения (2D и 3D с высоким временным разрешением), лазерные методы бесконтактной диагностики потоков и процессов горения (ЛИФ, КАРС и т.д.), методы вычислительной томографии для решения задач аэрогидродинамики и другие.

Выполнение данного комплекса исследований требует широкого участия академических и отраслевых институтов, вузовской науки. В первую очередь к ним относятся такие институты, как ОИВТ РАН, Институт теплофизики и ряд других институтов СО РАН, ИМАШ РАН, ИНЭИ РАН, ЦИАМ, СПбПУ, МЭИ, МВТУ, УГАТУ (Уфимский авиационный технический университет), СГАУ (Самарский авиакосмический университет), ВТИ, НПО ЦКТИ им. Ползунова, ВИАМ, НПО ЦНИИТМАШ, ЦНИИ КМ Прометей и др.

Необходимость проведения большого объема поузловых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и стендовых испытаний определяет потребность участия в данном проекте отраслевой науки и высокотехнологичных компаний энергомашиностроения и авиадвигателестроения. Большой потенциал для выполнения прикладных исследований и стендовых испытаний имеется в организациях ОДК (Объединенной двигателестроительной корпорации), ЦИАМ, ОАО «САТУРН», ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ» и в «РЭП-ХОЛДИНГ», ВТИ, НПО ЦКТИ им. И.И. Ползунова, ПАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ» и в других организациях (рис. 5).

Особенности режимов эксплуатации мощных газовых турбин и требования к их надежности должны быть учтены и обеспечены с использованием систем автоматического управления, мониторинга и диагностики, а также с использованием специальных алгоритмов и программного обеспечения, разработанных на базе динамических математических моделей.

Обеспечение изготовления газовых турбин деталями и заготовками, такими как лопатки, диски, роторы и т.п., возможно на базе разработки и развития перспективных металлургических технологий в кооперации академической, вузовской и отраслевой науки с металлургическими компаниями [22, 23].

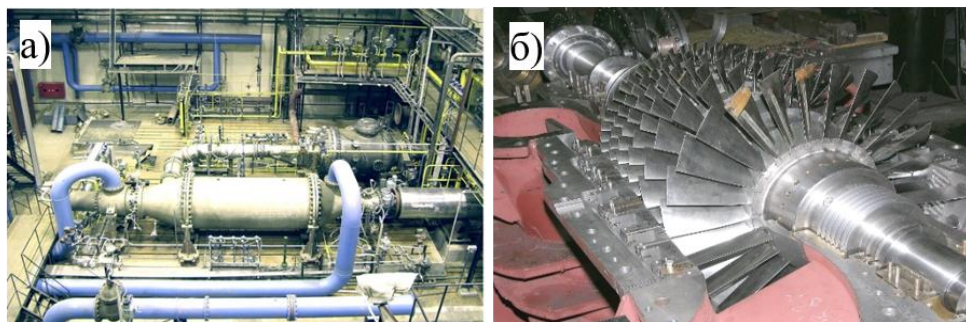


Рис. 5. Экспериментальные стенды для огневых испытаний камер сгорания ПАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ» (а) и компрессоров НПО ЦКТИ им. И.И. Ползунова (б)

Данное направление работ потребует участия как институтов, так и промышленных компаний. Это в первую очередь ВИАМ, НПО ЦНИИТМАШ, ЦНИИ КМ Прометей, ВИЛС, ОАМЗ-Спецсталь, Петрозаводскмаш и другие организации.

Другими важными направлениями научного обеспечения при создании перспективных газовых турбин являются проблемы, связанные с обеспечением эксплуатации, сервиса и восстановительного ремонта. Успешное решение этих проблем также требует широкой кооперации научных, производственных и эксплуатирующих организаций.

Основными этапами освоения отечественных газотурбинных энерготехнологий должны быть следующие.

1-й этап – восстановление компетенций в Е-классе в течение 5-ти лет (к 2022-2023 гг.), который включает разработку и серийное производство отечественных газовых турбин средней и большой мощности для обеспечения программы ДПМ-штрих.

Финансирование этого этапа проекта состоит из бюджетного финансирования и финансирования из собственных средств ПАО «Силловые машины».

2-й этап – разработка и освоение газовых турбин F/H-класса в течение 10-ти лет (к 2028 году).

3-й этап – разработка и освоение газовых турбин J-класса в течение 15-ти лет (к 2033 году).

Заключение

Комплексная научно-технологическая инвестиционная программа (комплексный проект) по разработке перспективных газовых турбин отвечает интересам Российской Федерации и необходим для обеспечения конкурентоспособности и экспортного потенциала промышленности, решения текущих и перспективных задач энергетики XXI века. Уровень и значение Проекта для страны требуют его поддержки на уровне Правительства РФ, активного участия профильных Министерств, научных организаций,

индустриальных партнеров и реального бюджетного финансирования

Реализацию мультидисциплинарного в научном и прикладном плане Проекта, координацию работ и кооперацию академической, отраслевой и вузовской науки с промышленностью необходимо осуществлять под научно-методическим руководством РАН.

Развитие отечественных газотурбинных технологий является одним из важнейших приоритетов обеспечения энергобезопасности и научно-технологического развития Российской Федерации.

Литература

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2018. <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2018>.
2. Энергетическая стратегия России до 2035 года.
3. Стратегия научно-технологического развития России до 2035 года. Утверждена Указом Президента РФ от 01.12.2016 года № 642.
4. Фортов В.Е., Попель О.Н. Энергетика в современном мире. Изд-во Интеллект, 2011. 168 с.
5. Петреня Ю.К. По законам физики и экономики. *stimul.online «Интервью»*, 2018.
6. Ольховский Г.Г., Тумановский А.Г. Теплоэнергетические технологии в период до 2030 г. // Известия РАН. Энергетика, 2008. – № 6. – С.79–94.
7. Фаворский О. Н., Полищук В.Л. Выбор тепловой схемы и профиля отечественной мощной энергетической ГТУ нового поколения и ПГУ на ее основе // Теплоэнергетика. – 2010. – №2.
8. Иноземцев А.А., Хайрулин В.Т., Тихонов А.С., Самохвалов Н.Ю. Совершенствование методик проектирования современных газовых турбин. – Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета № 5(47), часть 1, 2014, с. 139-145.
9. Федюк Е.Р. Научная школа С.А. Христиановича в сфере энергетики – Личность. Культура. Общество. Сборник научных статей. – Новосибирск, 2010. с.148–162.
10. Schmalzer, B. A Gas Turbine Boom Begins. International Turbomachinery Handbook 2008
11. Филиппов С.П., Дильман М.Д. ТЭЦ в России: необходимость технологического обновления // Теплоэнергетика, 2018, № 11, с. 1-18.
12. Газовые энергетические турбины GE от 16 до 510 МВт. ge.com/power/gas/gas-turbines
13. Газовые турбины Siemens HL-класса – SGT5-8000HL, SGT5-9000HL и SGT6-9000HL. <https://politexpert.net/123615-rekord-proizvoditelnosti-siemens-predstavil-sverkhmoshnuyu-gazovuyu-turbinu>
14. MHI The state-of-the-art J-series gas turbines with a turbine inlet temperature of 1,600 °C. mhi.com/products/energy/gas_turbine.html
15. Крюгер В.Д., Сорочан И.П., Петреня Ю.К., Лебедев А.С., Симин Н.О., Векшин О.Д., Залетов И.В., Конашков В.А. Энергетические газотурбинные установки производства ОАО «Силовые машины» // Газотурбинные технологии, 2009, № 3(74), с. 2-8.
16. Лебедев А.С., Симин Н.О., Петреня Ю.К., Михайлов В.Е. Проект энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Теплоэнергетика, 2008, № 1, с. 46-51.

17. Кондратьев В.Н., Лебедев А.С., Симин Н.О., Сергеев А.Г. Газовые турбины «Интертурбо» для блоков ПГУ в России. – «Электрические станции», 2011, № 7, с. 37-41.
18. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – Пермь, ОАО «Авиадвигатель», 2006, 1204 с.
19. Лобасов А.С., Абдуракипов С.С., Чикишев Л.М., Дулин В.М., Маркович Д.М. Исследование формы пламени в нестационарном потоке закрученной турбулентной струи методом НСНО PLIF // Физика горения и взрыва. – 2018. – Т. 54, № 6. – с. 17-24.
20. Чикишев Л.М., Дулин В.М., Гобызов О.А., Лобасов А.С., Маркович Д.М. Исследование смесеобразования в модели камеры сгорания ГТУ с использованием панорамных оптических методов // Теплофизика и Аэромеханика. – 2017. – Т. 24, № 3. – с. 357-364.
21. Markovich D.M., Abdurakipov S.S., Chikishev L.M., Dulin V.M., Hanjalić K. Comparative analysis of low- and high-swirl confined flames and jets by proper orthogonal and dynamic mode decompositions // Phys. Fluids. – 2014. Vol. 26.
22. Alekseenko S.V., Dulin V.M., Kozorezov Y.S., Markovich D.M., Shtork S.I., Tokarev M.P. Flow structure of swirling turbulent propane flames // Flow, Turbul. Combust. – 2011. – V. 87. – P. 569-595.
23. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник РАН, 2012, том 82, № 6, с. 520-530.
24. Голубовский Е.Р., Светлов И.Л., Хвацкий К.К. Длительная прочность никелевых сплавов для монокристаллических лопаток газотурбинных установок // Конверсия в машиностроении, 2005, № 3. – с. 60-64.

Ключевые положения доклада:

- Современная электроэнергетика: состояние и тенденции
- Место АЭ в энергетике будущего: необходимые условия
- Обеспечение безопасности
- Реакторы на быстрых нейтронах и новая технологическая платформа АЭ
- Реакторы на тепловых нейтронах и их перспективы
- Малая АЭ – потенциально новый продукт
- Атомно-водородная энергетика – забытое старое
- Зачем нужен термояд.

Интрига развития ядерной энергетики на современном этапе в значительной степени заключается в том, что она не может быть рассмотрена в отрыве от энергетики в целом, от электроэнергетики в целом. Тенденции последних лет, во-первых, несколько отличаются от предшествующих, во-вторых – они подвергаются своеобразной трактовке, которая не всегда может считаться адекватной (рис. 1).

Наблюдается:	Трактуется:
<ul style="list-style-type: none">• Неуклонный рост объёма производства электроэнергии ускорение – до 2008 г.• Развитие энергосберегающих технологий• Развитие технологий возобновляемых источников энергии концентраторы, аккумуляторы, ингибиторы деградации• Значительная доля производства э/э на АЭС рост в мире – по 2001 г., в РФ – по настоящее время	<ul style="list-style-type: none">• Снижение темпов роста потребления э/э• Устранение потребности в новой генерации• Конкурентные преимущества ВИЭ• Вытеснение атомной энергетики

Рис. 1. Современная электроэнергетика: состояние и тенденции

Ежегодный рост производства электроэнергии стабильно наблюдается на протяжении всех лет, за которые мы развиваем электроэнергетику, но за последние годы изменилась производная этой зависимости (рис. 2).

Если в начале 90-х гг. рост происходил убыстряющимися темпами, то в последние годы этот процесс несколько изменился. Поэтому отсюда делается

¹ Заместитель генерального директора - директор Блока по управлению инновациями Госкорпорации «Росатом», доктор технических наук

² Директор направления научно-технических исследований и разработок, Госкорпорация «Росатом», доктор физико-математических наук

³ Доклад подготовлен при участии Е.О. Адамова, В.Г. Асмолова, Л.А. Большова, А.В. Дуба, И.А. Ермакова, Н.Н. Пономарева-Степного, А.А. Саркисова

вывод, что темпы роста потребления электроэнергии снижается, и, может быть, не стоит прогнозировать слишком большого увеличения этих объемов в ближайшей перспективе, а тем более, если говорить о перспективе на уровне десятков лет, а именно такими масштабами оперирует ядерная энергетика.

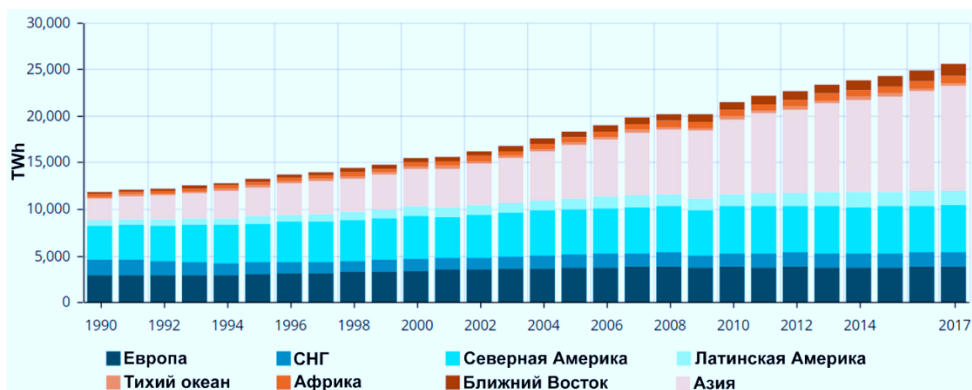


Рис. 2. Мировое производство электроэнергии

Наблюдающееся развитие энергосберегающих технологий, особенно технологий возобновляемых источников энергии, порождает ощущение в том, что мы не стоим перед задачей создания новой генерации, что можно обойтись имеющимися мощностями. И тем более, имея в виду конкурентные преимущества возобновляемых источников энергии, с точки зрения экологии и скорости освоения этих ресурсов, часто делается вывод о том, что атомная энергетика из энергетической картины мира может быть вытеснена.

В настоящий момент атомная энергетика в мировом производстве составляет около 10 процентов производства электроэнергии, а в нашей стране – почти 19 процентов.

Если посмотреть на карту нашей страны (рис. 3), как уже отмечалось В.Е. Фортовым, в европейской части около 40 процентов электроэнергии производится на атомных станциях.

Важно обратить внимание еще на одно обстоятельство: сегодня экспорт атомных станций (а мы строим и уже законтрактовано в настоящее время 36 блоков на ближайшее десятилетие за рубежом) – один из ключевых несырьевых экспортов нашей страны. Причем, экспорт высокотехнологичный. По объемам он сопоставим с экспортом вооружений.

На сегодня десятилетний «портфель» заказов «Росатома» на строительство атомных станций за рубежом превышает 130 млрд. долларов. Если не останавливаться на этих уже имеющихся контрактах, какие есть резервы, которые позволяют нам смотреть вперед с оптимизмом и предлагать развитие ядерной энергетике?

Не надо забывать о том, что прогнозы по энергопотреблению в мире могут кардинально поменяться буквально за ближайшее десятилетие. Это, в первую очередь, уже обсуждавшаяся сегодня электрификация транспорта;

это процессы цифровизации, которые идут не только в нашей стране, но активно идут во всем мире, в частности в Евросоюзе они являются одним из приоритетных направлений научно-технического развития. Наконец неравномерность регионального развития мировых регионов говорит о том, что потенциал развития электроэнергетики на самом деле колоссальный: около 2 млрд. человек на Земле сегодня не обеспечено электроэнергией.

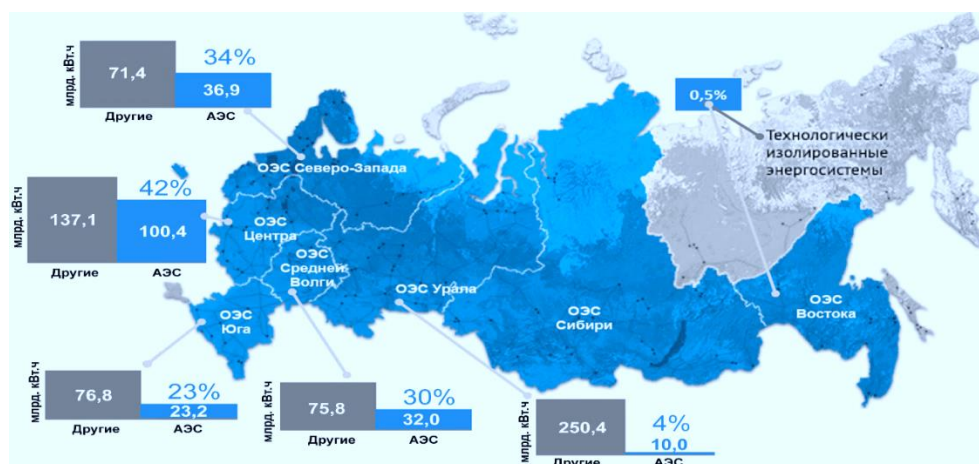


Рис. 3. Доля АЭС в выработке электроэнергии России в 2017 г.

Что касается неравномерности, то именно азиатский прирост электроэнергии в последние годы привел к доминирующему положению этого региона на рынке потребления электроэнергии: Китай, Индия и Япония составили 3/4 мирового производства электроэнергии в 2017 году. Ее производство сократилось в США, но увеличилось в Канаде и в ЕС; восстановилось в Японии в 2017 г. после 3 лет снижения.

Таким образом, если ориентироваться на возможность изменения тенденций в потреблении электроэнергии, то мы приходим и к тому, что необходимость новой генерации, по-прежнему, существенна, и ядерная энергетика может составить значительную составляющую в этой генерации.

Буквально два слова о выгодности вложений в ядерную энергетику.

Безусловно, строительство атомной станции – вещь очень дорогостоящая и затратная. Она растягивается по окупаемости на десятилетия. Если говорить на языке экономистов, средневзвешенная стоимость электроэнергии, которая включает все затраты (от сооружения до вывода в эксплуатацию), то видно, что сегодня в результате массового внедрения возобновляемых источников энергии стоимость уже находится на уровне или опустилась ниже всех остальных источников генерации.

Однако, возобновляемые источники энергии обладают весьма низкой плотностью потока энергии, то есть требуют больших затрат и площадей для размещения, ветроэнергетика крайне сильно зависит от погодных условий. Поэтому такие источники мало пригодны для основного энергоснабжения

крупных потребителей – городов и предприятий, что вызывает необходимость дополнительного резервирования.

Все эти обстоятельства в настоящее время делают ядерную энергетику конкурентоспособным инструментом в энергетике при условии понимания ее достоинств и удовлетворения определенным требованиям.

Именно угроза крупных аварий и представляет основную платформу для негативного отношения к ядерной энергетике, так или иначе укоренившегося и старательно укореняемого в головах человечества отдельными средствами массовой информации и пропагандистами альтернативных способов.

Мы обязаны идти по пути повышения экономической эффективности, что требует определенного решения целого ряда научно-технических задач, о которых пойдет речь ниже. И не надо забывать о том, что ядерная энергетика обладает определенным уровнем экологической привлекательности уже сейчас, поскольку эта энергетика безуглеродная, а тенденция на безуглеродную энергетику, едва ли не главная в наше время.

Но, конечно, мы должны позаботиться о том, чтобы минимизировать угрозу радиоактивных отходов, которые образуются в результате деятельности атомных станций. Желательно перейти на так называемый замкнутый ядерный топливный цикл, который бы минимизировал и наши потребности в природном уране, а не топливе, и минимизировал бы полностью отходы ядерной электроэнергетики.

В чем состоит основная угроза крупных аварий? Это перегрев топлива, который приводит к неконтролируемой цепной реакции. Эта угроза может возникать в результате реактивных аварий или при охлаждении. Понятно, что при разрыве одного из трубопроводов возникает угроза перегрева реакторной зоны.

Решения для этих задач могут и научно-технические, и конструкторские. В частности, так называемый проект «Прорыв», основанный на новой технологической платформе с использованием реакторов на быстрых нейтронах, о которых сегодня уже упоминалось, представляет собой платформу, нацеленную на переход к замкнутому топливному циклу и принципиальные решения проблем отработавшего ядерного топлива и накопления радиоактивных отходов.

В качестве базы предполагается использование быстрых реакторов для наработки топлива, которые будут работать на природном, т.е. необогащенном уране. Выжигание наиболее опасных продуктов деления, так называемых минорных актинидов, позволит кардинально снизить объемы радиоактивных отходов.

Предполагается, что интегральная конструкция такой реакторной установки позволит локализовать возможности теплоносителя в корпусе и тем самым избежать самого опасного, чем может грозить ядерная энергетика, – аварии на ядерной станции. Это крупные аварии, которые требуют эвакуации населения со всеми вытекающими последствиями.

В значительной степени этому будет помогать переход на новое топливо. На технических деталях здесь останавливаться не будем.

Предполагается, что развитие такой новой технологической платформы в значительной степени позволит решить те проблемы, которые стоят перед ядерной энергетикой, и экономические, и экологические, и сделать ее значительно более привлекательной.

Сегодня Россия является единственной страной в мире, которая эксплуатирует энергетические реакторы на быстрых нейтронах и тем самым еще владеет до сих пор тем необходимым технологическим преимуществом, которое мы в значительной степени потеряли в других отраслях промышленности.

Тем не менее основным объектом у нас являются реакторы, так называемые ВВЭР – водо-водяные энергетические реакторы. Именно они составляют основу нашей ядерной энергетики и являются предметом экспорта.

Перечисленные здесь направления их технологического развития необходимы для того, чтобы и в дальнейшем мы могли бы рассчитывать на доминирование в этой области ядерной науки и техники и на возможность поддержания нашего экспортного потенциала.

Примерный график реализации этих технологических и научных решений представлен на рис. 4. Если мы прямо сейчас активно начинаем эту работу, то к концу десятилетия, к 2030-му году, мы можем показать наличие референтного блока, без которого невозможно развитие экспорта таких установок.

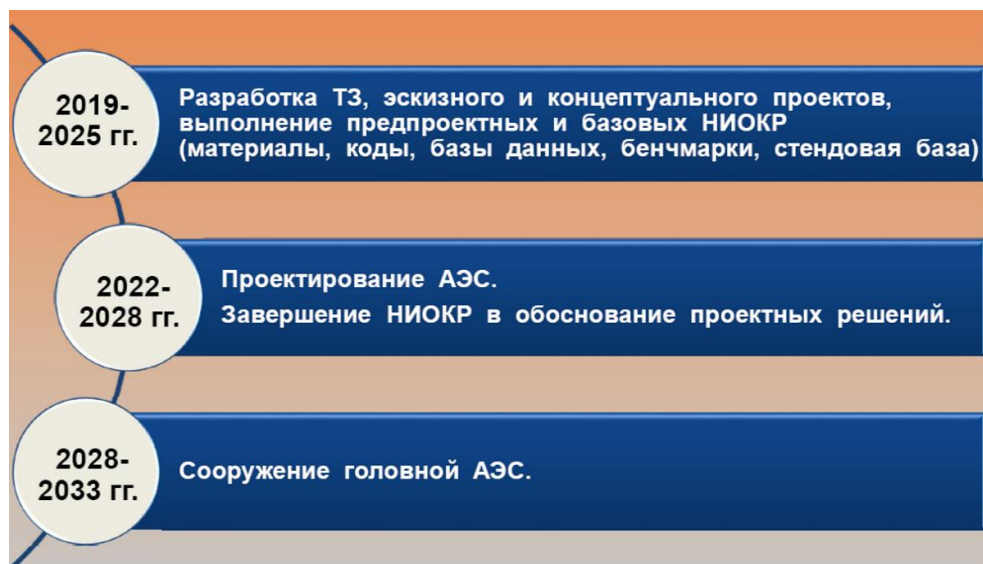


Рис. 4. Возможные сроки реализации усовершенствований ВВЭР

Эта схема условно показывает, как должен быть организован процесс замыкания ядерного топливного цикла даже без непосредственного перехода к реакторам на быстрых нейтронах, в том числе используя уже существующие возможности.

Еще одним возможным технологическим направлением развития ядерной энергетики является малая атомная энергетика, развитие которой целесообразно с учетом низкой плотности населения нашей страны и возможности электрификации, которая наглядно показана на рис. 4.

Потенциально объекты для использования малой ядерной энергетики существуют, они хорошо известны. И возможность строения атомных станций малой мощности – это довольно старая идея. Однако сегодня речь идет о том, что такие станции можно делать индустриально, тем самым сократить расходы на капитальное строительство на месте, выпуская их в заводском порядке и таким же способом занимаясь переработкой отработанных отходов.

Таким образом, если мы можем реализовать конструкцию, когда станция будет привезена на место, фактически не требуя эксплуатации, отработает какое-то время, а потом будет увезена обратно, то это может решить соответствующую проблему станции малой мощности. При этом, невзирая даже на то, что затраты по ее сооружению, конечно же, значительно превышают стоимость размещения, например, ветровой энергетической установки.

О водородной энергетике сегодня уже говорил О.Е. Аксютин. Это направление переживает ренессанс в последние годы. Не буду перечислять, для чего может быть использован водород. Отметим лишь следующее.

В начале 2017 года был образован так называемый водородный международный Совет во время экономического форума в Давосе. В этот Совет вошли ведущие мировые компании и, как ни странно, нефтяные компании, которые признали, что развитие водородной энергетики может быть новым этапом развития энергетики. Водород, как известно, экологически чист при сжигании, и это основной аргумент, который вызывает интерес к этой энергетике.

Должен сказать, что идея водородной энергетики в нашей стране не нова. Она довольно активно разрабатывалась еще в 80-е годы прошлого века. Была возможность даже ездить на «Жигулях», в которых стоял водородный двигатель.

Что изменилось за это время? У нас появились новые материалы, у нас появилась возможность существования избыточной генерации электроэнергии, когда мы производим больше электроэнергии, чем непосредственно в состоянии потребить, особенно в данных регионах конкретных. И появилась возможность масштабного экспорта, о котором тоже сегодня уже говорилось.

Таким образом, на всех этапах, от производства, хранения и использования водорода как энергетического агента, упомяну только возможность использования в качестве накопителя, все эти элементы сегодня представляют интерес и могут стать предметом не просто научных разработок, а вполне понятной экономической активности.

При чем здесь ядерная энергетика? Ядерная энергетика может внести весьма заметный вклад в развитие концепции водородной энергетики на стадии ее крупномасштабного производства. Например, посредством

использования, так называемого высокотемпературного газоохлаждающего реактора, концепция которого и применение для целей водородной энергетики, в принципе, развивалось в нашей стране достаточно давно.

О термоядерном синтезе, как потенциальном источнике фактически бесконечной энергии, сегодня тоже говорил В.Е. Фортов. И логика, зачем можно и должно развивать термоядерную энергетику, у нас та же самая несмотря на то, что этой проблемой мы занимаемся уже более 60 лет. Главное – это, конечно, отсутствие углеродосодержащих выбросов, которые иллюстрируются вполне хорошо известной, со школьных времен каждому картинкой.

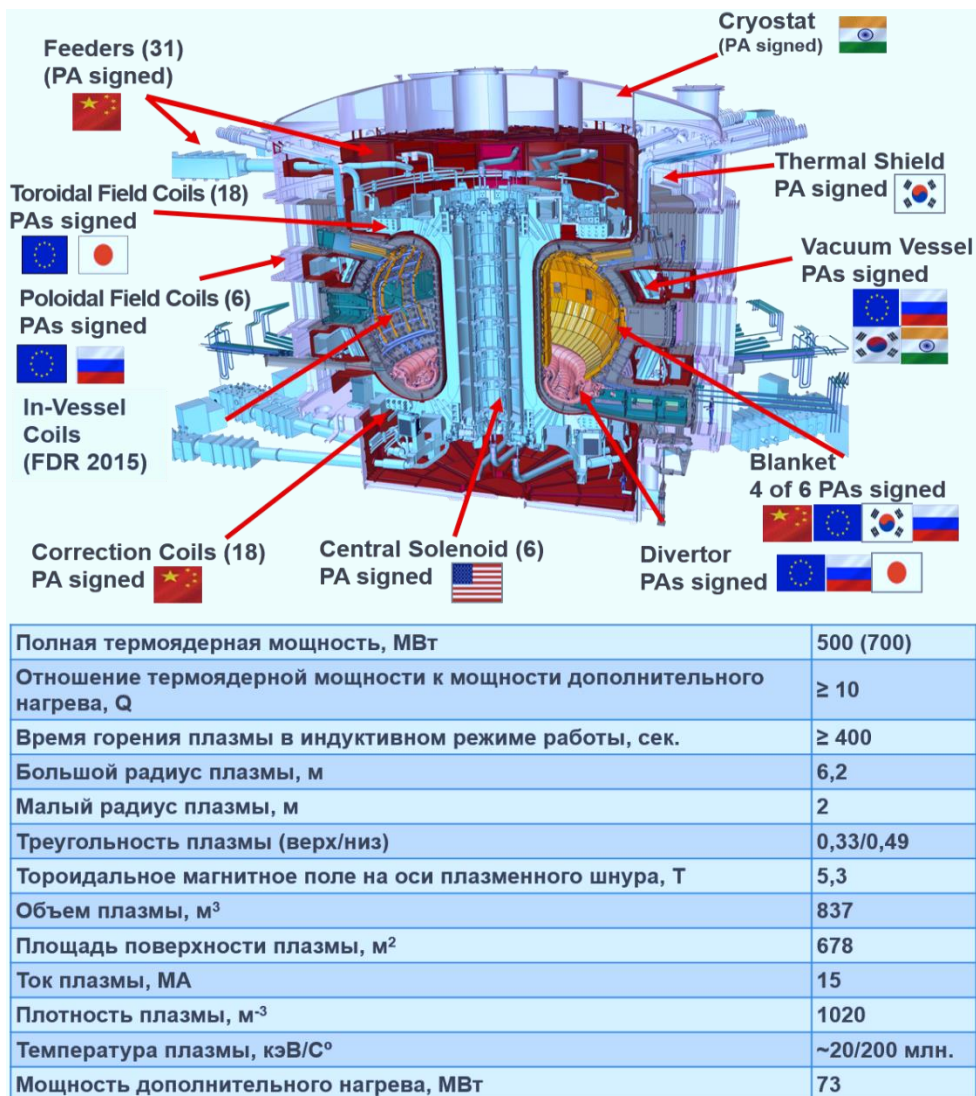


Рис. 5. ИТЭР – крупнейший научный проект современности

Подчеркнем здесь только два момента: это невозможность разгона, это не цепная реакция, которая характерна для обычной ядерной энергетики, и неограниченные запасы топлива.

Что сделало человечество в области освоения термоядерной энергии за истекшие 60 лет?

Оно сделало довольно много, и мы уже умеем демонстрировать возможность производства термоядерной энергии, правда, на очень сложных устройствах. Это устройство для магнитного удержания высокотемпературной плазмы, которое показано на рис. 5, пример самого крупномасштабного проекта современности, которым является ТОКАМАК ИТЭР, строящийся в настоящее время на юге Франции в ядерном центре Кадараш. Это крупнейшая коллаборация ведущих мировых держав. В эту коллаборацию вошли Россия, США, Европейский союз, Япония, потом к ним присоединилась Китайская Народная Республика, Индия и Корея. Вот такая машина сооружается, и еще раз повторю, что это самый дорогой проект современности и проект долгосрочный.

Стрелками здесь показаны те сложные технологические элементы, которые изготавливаются разными странами или странами в коллаборации. То, что проект реально движется, можно увидеть из этой картинки. То, что произошло за последние 10 лет. Это нынешнее состояние проекта Токамак ИТЭР, но запущен он будет только в 2025 году, а на реальный режим выйдет в 2035 году. Спрашивается, зачем мы делаем такое дорогое устройство, не только же из чисто научного интереса?

Для нашей страны ключевое значение имеет то, что, участвуя в этом проекте, мы получаем доступ к самым современным технологиям, причем развиваемым не только у нас, но и во всем мире согласно договору по ИТЭР.

На рис. 6 представлен перечень тех технологий, которые могут служить драйвером для развития нашей современной промышленности.

Я скажу только о технологиях сверхпроводников, мощных источников электромагнитного излучения частиц самопрецизионной диагностики и т.д. В этом сегодня основная задача следования термоядерному синтезу, преимущества и цели которого хорошо известны, и самое главное – это, конечно, еще то, что помимо овладения такими технологиями термоядерный синтез продемонстрировал большое количество побочных технологических применений, которые уже сейчас внедрены в промышленность.

Перечисленные направления развития ядерной отрасли все без исключения основаны на продвижении нашей ядерной науки и сферы высоких технологий и отвечают требованиям Стратегии научно-технологического развития и двух указов президента, обеспечивая энергетическую и национальную безопасность страны.

Подчеркнем, что ядерная отрасль до сих пор остается одной из самых наукоемких и высокотехнологичных отраслей нашего народного хозяйства и при этом обеспечивает экономический профицит, довольно заметный в нашем бюджете.

Системы ИТЭР	Результат	Кооперация
1-2. Nb ₃ Sn и NbTi Сверхпроводники	Создано производство лучших в мире низкотемпературных Nb ₃ Sn и NbTi сверхпроводников (изготовлено 225 т)	ВНИИНМ, ТВЭЛ, ЧМЗ, ВНИИКП, ИФВЭ, НИЦ «Курчатовский институт»
3. Обмотка PF 1 полоидального поля	Разработана и начато изготовление сверхпроводящей полоидальной катушки	НИИЭФА, СНСЗ
4. Верхние патрубки	Разработана конструкция и начато изготовление верхних патрубков	НИИЭФА
5. Первая стенка	Разработана конструкция и начато изготовление самых энергонапряжённых элементов 40% ПС	НИИЭФА, НИКИЭТ, ВНИИНМ, «Базальт»
6. Соединители модулей blankets	Разработаны и создано производство механических и электрических соединителей	НИКИЭТ
7. Центральная сборка дивертора	Разработаны и создано производство модулей центральной сборки дивертора	НИИЭФА
8. Испытания элементов первой стенки и дивертора	Созданы стенды и начаты испытания элементов дивертора и первой стенки из России, Японии и Европейского Союза	НИИЭФА, ГНЦ РФ ТРИНИТИ, ВНИИНМ
9. Коммутирующая аппаратура	Разработаны и начато изготовление 100% коммутирующей аппаратуры	НИИЭФА
10. Гиротроны	Изготовлены и испытаны лучшие в мире гиротроны (170 ГГц, >1 МВт, 1000 сек)	ИПФ РАН, Гиком, НИЦ «Курчатовский институт»
11. Рефлектометрия	Разработан рефлектометр / рефрактометр	НИЦ «Курчатовский институт»
12. Анализатор атомов перезарядки	Созданы лучшие в мире анализаторы атомов, спектрометры нейтронов и гамма-квантов	ФТИ РАН, «Техноэксан» ИТЭР-Центр, НИИЭФА
13. Монитор потока нейтронов	Разработаны мониторы потока нейтронов с U-235 и U-238 для управления горением	ИТЭР-Центр, ТРИНИТИ, НИИТФА, ИЯФ СО РАН
14. Томсоновское рассеяние	Созданы уникальные лазеры, первое зеркало, полихроматоры.	ФТИ РАН, «Техноэксан»
15. Спектроскопия водородных линий	Создано уникальное первое зеркало из монокристаллического молибдена	УТС-Центр», «Луч», НИЦ «Курчатовский институт»
16. Активная спектроскопия	Созданы уникальные спектрометры, Мо первое зеркало, оптоволоконные жгуты	ИТЭР-Центр, «Солар», ТРИНИТИ, ГИПО, «Луч»
17. Вертикальная нейтронная камера	Созданы лучшие алмазные спектрометры нейтронов, U-238 камеры деления, MI-кабели.	ИТЭР-Центр, ТРИНИТИ, ИЯФ СО РАН, НИИТФА
18. g-спектроскопия	Созданы лучшие спектрометры g-квантов	ФТИ РАН, «Техноэксан»
19. ЛИФ	Созданы уникальные лазеры	ФТИ РАН, «Техноэксан»
20. Стенды порт-плагов	Разработаны технологии испытания порт-плагов	«Криогенмаш»
21-25. Порт-плаги E-11, U- 2,7,8, L-8	Разработаны технологии изготовления порт-плагов, начата интеграция диагностик	ИЯФ СО РАН «Техноэксан»

Рис. 6. Перечень технологий, разработанных при создании ИТЭР, которые могут служить драйвером для развития современной промышленности

Поэтому для того, чтобы оставаться таковой, необходимо продолжать научно-технологическое развитие, и перечисленные направления этого развития в настоящее время предлагается включить в состав комплексного проекта, который Госкорпорация «Росатом» предлагает для реализации Стратегии научно-технического развития страны.

Пробьба поддержать эту Концепцию данного проекта.

В докладе проведен анализ состояния и перспектив развития возобновляемой энергетики, как в мире, так и России. Описаны перспективные технологии, предложены пути их реализации применительно к российским условиям.

Общее состояние возобновляемой энергетики

Возобновляемая энергетика базируется на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), к которым относятся: солнце; ветер; биомасса, включая органические отходы; гидроресурсы (малые водостоки); геотермальные ресурсы (тепло приповерхностных нагретых вод и тепло сухих пород на больших глубинах); низкопотенциальное тепло. Кроме перечисленных выше основных видов к ВИЭ относятся также: энергия волн; энергия приливов; термоградиенты в океане; градиенты солености; тепло грунта и незамерзающих водоемов и др. Энергия крупных рек тоже является возобновляемым источником энергии, но выделена в самостоятельное направление. В числе наиболее перспективных (в смысле конкуренции с традиционной энергетикой) видов ВИЭ находятся: солнечная, ветровая и геотермальная энергия. Главные достоинства ВИЭ заключается в их экологической чистоте, доступности, неисчерпаемости, а главные проблемы обусловлены дороговизной производимой энергии и рядом других специфических особенностей, в частности, необходимостью хранения энергии для таких ВИЭ, как солнце и ветер. Последний факт означает, что развитие возобновляемой энергетики немислимо без создания систем хранения энергии (накопителей энергии) в самых разных ее видах.

Пока вклад ВИЭ в производство электроэнергии невелик, но темпы впечатляют: 2003 г. – 2%, 2012 г. – 5,2%, 2015 г. – 7,3%, 2020 г. – 11,2% (прогноз). Прирост мощности ВИЭ в год – 18% (по фотовольтаике – 28%!). Очень сильные различия наблюдаются по странам и регионам. Так, Германия планирует, что к 2050 году 80% генерации энергии будет за счет ВИЭ. Некоторые страны (например, Франция) заявляют о готовности уже в ближайшие годы полностью отказаться от использования в энергетике органического топлива и перейти на возобновляемые источники энергии. К сожалению, в России к 2020 году планируемый вклад ВИЭ в энергетикy всего лишь 1%, то есть на порядок меньше среднемирового показателя. Хотя определенные усилия предпринимаются. Не так давно был организован Научный совет РАН по нетрадиционным возобновляемым источникам энергии. Для России одним из главных доводов развивать альтернативную энергетикy является обширность территории и труднодоступность многих районов страны для централизованного энергоснабжения (по оценке, более половины территории России не охвачено централизованным

¹ Директор Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, председатель ОУС СО РАН по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления, академик РАН

электроснабжением). Поэтому ВИЭ следует рассматривать, прежде всего, в качестве автономных источников энергии, которые составляют основу нового, интенсивно развиваемого направления – распределенной генерации. Но нет принципиальных препятствий для работы ВИЭ в составе централизованных энергосистем. Такие задачи уже рассматриваются.

Парижское соглашение

Для большинства стран одно из оснований развивать ВИЭ – Парижское соглашение, конечная цель которого – не допустить повышения температуры на 2 °С до конца XXI столетия из-за эмиссии парниковых газов (в первую очередь, CO₂), главным виновником которой объявлена энергетика на органическом топливе. При выполнении Парижского соглашения структура мировой энергетики должна претерпеть радикальные изменения в ближайшие десятилетия в результате вытеснения угля и замещения его газом и безуглеродными источниками (рис. 1).

По оценке безуглеродные источники начнут доминировать примерно после 2050 г. Однако есть ряд серьезных сомнений в обоснованности Парижского соглашения и вообще концепции глобального потепления. В петиции правительству США, которую в 1997 году подписали более 15 тысяч американских ученых и инженеров, сказано: «Не существует никаких убедительных научных свидетельств того, что антропогенный выброс углекислого газа или других парниковых газов могут в обозримом будущем вызвать катастрофическое прогревание атмосферы Земли и разрушение ее климата». В 2004 году аналогичное заключение официально объявила РАН.

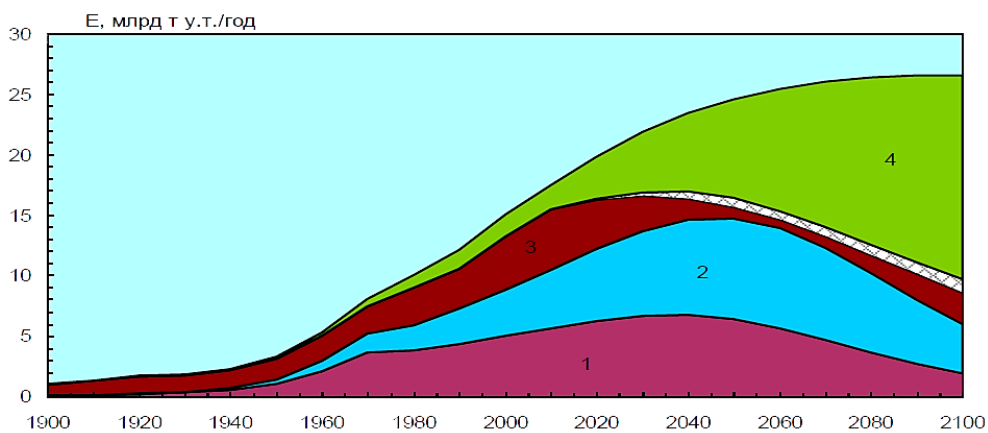


Рис. 1. Изменения структуры мирового энергопотребления при выполнении Парижского соглашения (Клименко, 2016):
1 – нефть, 2 – газ, 3 – уголь, 4 – неуглеродные источники

Существуют прямые свидетельства того, что изменения содержания CO₂ в атмосфере являются следствием изменения температуры, а не его причиной. Колебания климатических температур на планете Земля совершенно определенно связаны с колебаниями солнечной активности! В будущем (через

50-70 лет) ожидается глобальное похолодание на Земле (400-летний период между великими минимумами – последний был в 1635-1715 гг.). Резюме: требуются планомерные научные исследования причин изменения климата, но это не означает отказ от ориентации будущей энергетики на возобновляемые источники энергии – на то имеются иные веские основания!

Рассмотрим некоторые основные виды ВИЭ.

Солнечная энергетика

Солнечная энергетика базируется на двух основных подходах – использование теплового излучения Солнца для получения электроэнергии в паросиловом цикле и прямое преобразование излучения в электричество с помощью фотоэлектрических преобразователей. Солнечные тепловые электростанции (СТЭС) известны довольно давно, но не получили широкого распространения. Единичная мощность СТЭС не выше 400 МВт, температура в цикле достигает 700 °С, а КПД термодинамического цикла не превышает 20% из-за относительно низких температур. Никаких особых преимуществ у СТЭС не видно. Последние годы бурное развитие получили фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). Фотовольтаика представляет наиболее динамичный рынок в энергетике – рост более 28% в год. Установленная мощность составляет более 500 ГВт. Производство ФЭП в 2000 г. – 260 МВт, в 2016 г. – 75 ГВт (Россия – 100 МВт за 2 года). Доля в производстве электроэнергии: в Европе – 2,4% среди ВИЭ (2009 г.) или 0,5 % от всей генерации. В Германии в отдельные дни генерация за счет солнца – 87% при мощности 55 ГВт! Достигнутые значения КПД для монокристаллических ФЭП: 15- 16% (24%), поликристаллических: 12-13% (17%), аморфных: 8-10% (11%). В скобках указаны значения в лабораторных условиях. 90% солнечных элементов используют c-Si. Перспективные технологии:

1. Тонкопленочные солнечные элементы на гибких подложках.
2. ФЭП на основе новых материалов, например, арсенида галлия – арсенида алюминия.
3. Перовскиты – материал будущего (КПД 21,7%) с перспективой на гибкие подложки.

Для энергетике наиболее подходящим материалом является кремний. В России на заводе в Новочебоксарске на основе предложений ФТИ РАН запущена линия по производству СЭ с КПД = 22,5% – Топ 3 в мире! (А. Чубайс, REENCON-2018). В Институте теплофизики с целью реализации указанного выше перспективного направления «Тонкопленочные солнечные элементы на гибких подложках» развит струйный плазмохимический метод, позволяющий в скоростном режиме осаждать слои аморфного и поликристаллического кремния для тонкопленочных солнечных элементов (рис. 2). Скорость осаждения Si достигает 20 нм/с (в 100 раз выше, чем в других методах). При поддержке Росатома был создан опытный стенд для производства пленок кремния. Подготовлен Проект «Разработка технологии, оборудования и организация производства тонкопленочных кремниевых

солнечных модулей на гибких подложках производительностью 5 МВт в год и солнечных систем гражданского и специального применения на их основе» с участием ведущих научных и производственных организаций страны. Выполнение Проекта позволит организовать по полному технологическому циклу производство высококонкурентных фотоэлектрических модулей.

Геотермальная энергия

Особый акцент в своем докладе я хотел бы сделать на геотермальной энергетике. Ранее среди наиболее перспективных видов ВИЭ я выделил геотермальную энергию, что может показаться необычным. Геотермальная энергия подразделяется на две составляющие – всем известную гидрогеотермальную энергию, то есть, энергию горячих подземных вод, запасы которых не столь велики, и петротермальную энергию, то есть тепло сухих пород Земли на глубинах от 3 до 10 км (технически извлекаемое тепло). Про последний факт не знают даже многие специалисты. Температура на таких глубинах достигает 350°C.

Мой тезис: петротермальной энергии достаточно, чтобы навсегда обеспечить человечество энергией! Технология использования петротермального тепла относительно проста (рис. 3).

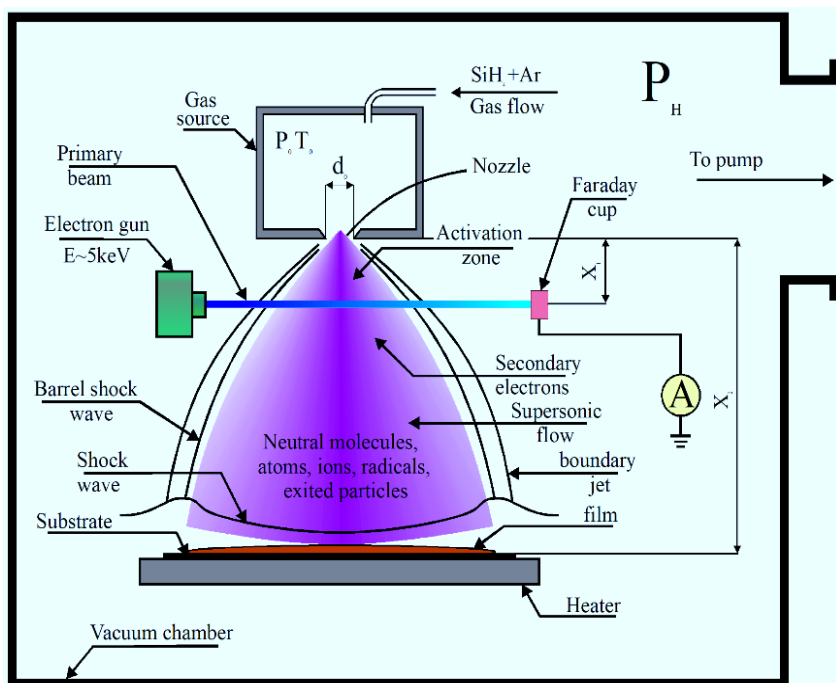


Рис. 2. Схема плазмохимического метода получения аморфного и поликристаллического кремния для тонкопленочных солнечных элементов.
ИТ СО РАН

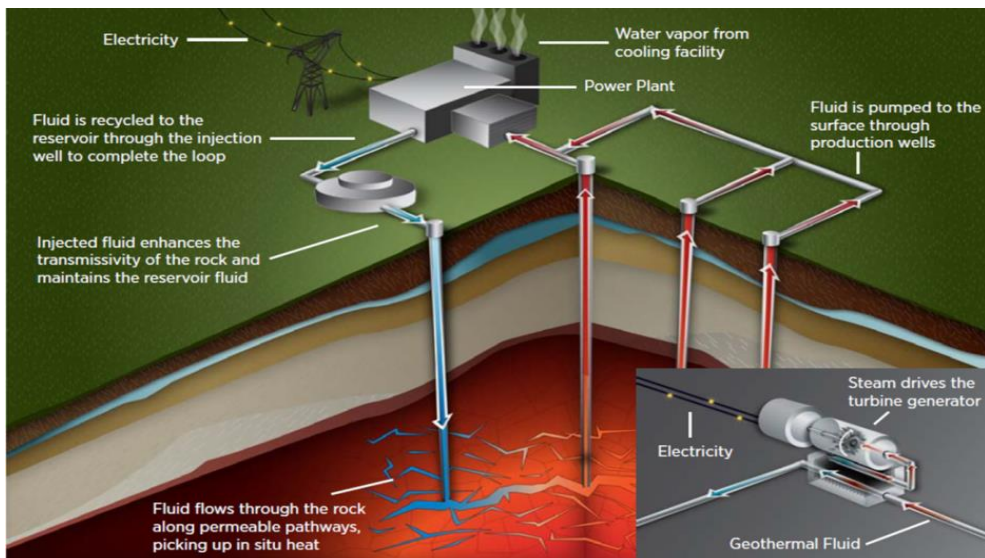


Рис. 3. Схема извлечения глубинного тепла

Чтобы добыть такое тепло, необходимо пробурить две скважины с расстоянием между ними в несколько сотен метров. По одной подается холодная вода, по другой извлекается горячий пар (вода). Но здесь возникает проблема – должен быть проницаемый резервуар между скважинами. Поскольку на таких глубинах залегают, обычно, сплошные базальтовые породы, то проницаемость необходимо создать искусственно, что очень непросто. Впервые для энергетических целей в 1970 г. в Лос-Аламосской национальной лаборатории США была предложено создавать искусственные коллекторы из вертикальных трещин путем гидроразрыва в монолите. Подобный проект был реализован в 1974-2000 гг. в Fenton Hill (США) с максимальной глубиной скважины до 4 390 м и был назван методом HDR (Hot Dry Rock). Однако этот подход не получил развития, поскольку формируются трещины непредсказуемой формы и протяженности, либо вообще только одна трещина, что не подходит для энергетических задач из-за низкой эффективности теплообмена. В итоге пошли по иному пути, который заключается в создании обширных резервуаров с множеством трещин, возникающих путем стимулирования естественных дефектов. Эти системы получили название Enhanced Geothermal Systems (EGS). Всего было реализовано около двадцати опытных систем типа HDR или EGS, которые подтвердили техническую возможность извлечения глубинного тепла с глубин до 5,1 км. Функционирует первая коммерческая станция мощностью 1,7 МВт. Запасы глубинного тепла практически не ограничены. По оценкам MIT для США запасов глубинного тепла хватит на 50 000 лет, то есть практически навсегда с учетом конечного времени существования высокоразвитых цивилизаций. Кроме оценок имеются официальные программы развития энергетики США. Предусмотрено, что к 2050 г. установленная мощность

петротермальных станций будет составлять 10% общих электрических мощностей страны (что эквивалентно 40% для России!). То есть, петротермальная энергетика – наиболее перспективное и экологически чистое направление развития мировой энергетики.

Если говорить об обычной гидрогеотермальной энергетике на тепле грунта и подземных вод, то сегодня ситуация такая. На 2015 год суммарная доля солнца, ветра, геотермальных источников и приливов в генерацию электроэнергии всего лишь 4,8%. Общая установленная мощность ГеоЭС составляет 12,6 ГВт. Безусловный лидер США – 3,45 ГВт, далее Филиппины – 1,87 ГВт и Индонезия – 1,34 ГВт. В России всего 83 МВт (на Камчатке и Курилах), хотя оборудование считается высококлассным. На бинарные ГеоЭС приходится 1,79 ГВт, то есть 14% от общей установленной мощности ГеоЭС. В системах теплоснабжения общая установленная мощность геотермальных установок достигает 70 ГВт, причем передача тепла потребителю осуществляется преимущественно с помощью тепловых насосов (50 ГВт). В числе лидеров опять США (17,4 ГВт) и Китай (17,9 ГВт). В ряде стран роль геотермального теплоснабжения весьма велика. Так, в Исландии геотермальным теплом отапливается 90% зданий.

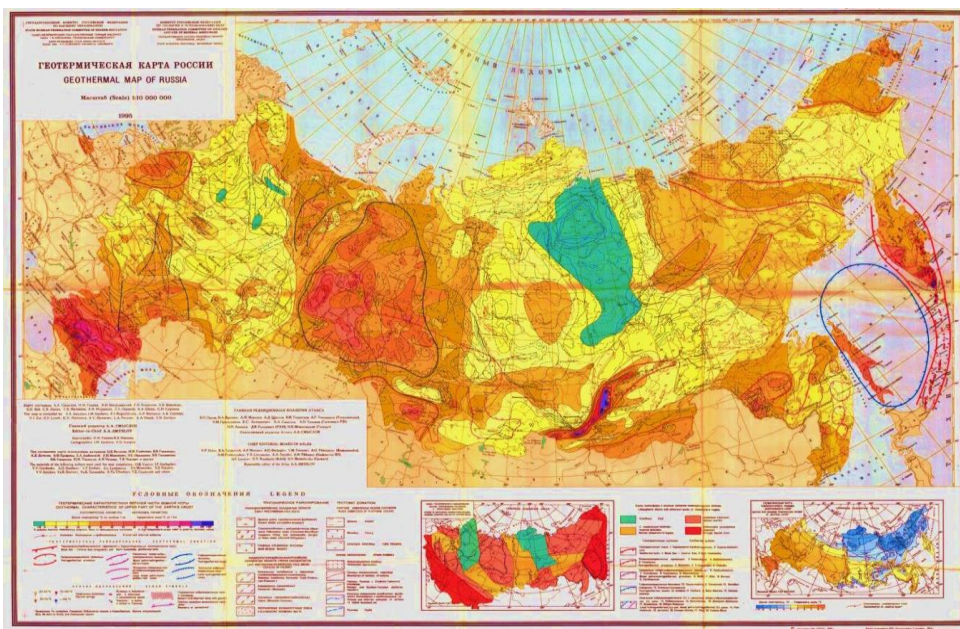


Рис. 4. Геотермическая карта России

Россия обладает значительным потенциалом геотермальных источников (рис. 4). Но для их эффективного использования необходимо провести тщательный анализ ресурсов и выполнить экономические оценки, чтобы затем составить дорожную карту развития геотермальной энергетики России, в том числе с учетом глубинного тепла. В России гидрогеотермальные

источники располагаются на Камчатке, Северном Кавказе, а также в Западной Сибири – самом богатом регионе России по запасам геотермальной энергии (но с невысокими температурами воды – до 39 °С в Новосибирской обл. и до 85 °С в Томской обл.). При высоких температурах геотермальной воды для генерации электроэнергии применяются обычные паровые циклы. Однако при температурах 80-120°С необходимо использовать так называемый бинарный цикл, во вторичном контуре которого циркулирует не вода, а низкокипящий теплоноситель типа фреонов. Соответствующий термодинамический цикл называется органическим циклом Ренкина (рис. 5).

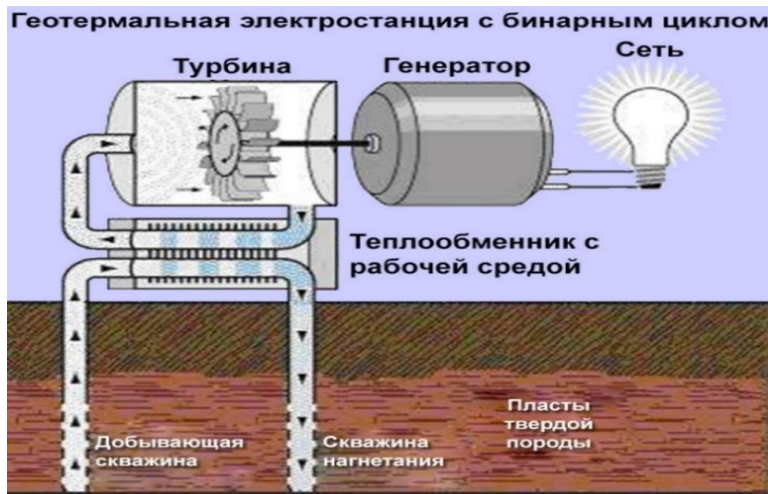


Рис. 5. Схема геотермальной станции с бинарным циклом

Впервые он был реализован Институтом теплофизики СО РАН на Паратунской ГеоЭС на Камчатке на фреоне 12 в 1970 году. С тех пор в мире сооружено около 2 тысяч установок на бинарных циклах, а в России на данный момент такие установки отсутствуют. Поэтому представляется обязательным развитие бинарных циклов в России, но имеются и проблемы реализации таких циклов. Они, в основном, связаны с выбором рабочих веществ, которых уже многие десятки.

И конечно, есть все основания развивать программу петротермальной энергетики в России с учетом имеющегося потенциала, опыта и ряда преимуществ. Реализация подобной программы позволит получить доступ к практически неисчерпаемым энергетическим ресурсам с полной экологической безопасностью и полной независимостью от внешних факторов! Бурить можно везде!

Биомасса, отходы

Глобальная проблема человечества связана с бурным ростом производимых отходов, в первую очередь твердых коммунальных отходов – ТКО (или ТБО – бытовых по прежней классификации)). Это тоже предмет для

разговора, поскольку ТКО относится к одному из видов ВИЭ – биомассе. По опыту передовых стран захоронению подлежат только обработанные, по сути, нейтральные отходы. В России переработке подвергаются всего лишь 5% ТКО, поэтому здесь проблема с отходами имеет особую актуальность. Из анализа существующего мирового опыта можно сделать следующие выводы: не существует единой универсальной технологии утилизации отходов. Признанный подход – создание «Комплексной системы обращения с отходами», которая включает в себя комплекс мер: от сокращения потенциальных отходов на стадии производства и до захоронения полностью обезвреженных остатков от переработки отходов. Мировая тенденция – Waste-to-Energy, то есть получение энергии из отходов, благодаря чему проявляется доходная статья при их утилизации. Поэтому термическое обезвреживание – обязательный элемент любой системы обращения с отходами, вследствие чего осуществляется окончательное обезвреживание опасных составляющих и производится тепловая и электрическая энергия. Методы термической переработки весьма разнообразны. В настоящее время в мире эксплуатируются более 2,5 тыс. установок, сжигающих твердые коммунальные отходы на механических колосниковых решетках, около 200 топков для термической переработки отходов в кипящем слое, примерно 20 барабанных печей, где сжигают ТКО, а также единичные установки пиролиза и газификации, в том числе с использованием плазмы. В настоящее время в России в эксплуатации находятся только 3 ТЭС на ТБО общей установленной электрической мощностью всего лишь 26,6 МВт (для сравнения: суммарная мощность ТЭС на ТБО в США – 2,7 ГВт).

Экономическая целесообразность и эффективность реализации системы обращения с отходами сильно зависит от состава перерабатываемых отходов. И здесь решающую роль должна играть автоматическая предварительная сортировка, методы которой начали развиваться лишь в последнее время. Наиболее перспективными устройствами являются интеллектуальные роботизированные системы оптического диапазона на основе машинного зрения и машинного обучения. Эти системы используют последние достижения в распознавании образов на изображениях с помощью сверточных нейронных сетей глубокого обучения. Для обучения таких сетей собирается обширная база данных с большим количеством примеров (десятки тысяч) изображений разных видов отходов. В этой связи, в 2018 году Институт теплофизики СО РАН приступил к разработке программно-технических решений по созданию экологически и экономически эффективной технологии сортировки твердых бытовых отходов на основе искусственных нейронных сетей и экспериментального образца сортировочного комплекса для твердых бытовых отходов на базе создаваемой технологии. Эту работу ученые планируют завершить до 2020 года.

На рис. 6 демонстрируется схематично один из базовых проектов термической переработки ТБО под названием: Комплексная районная тепловая станция (КРТС) производительностью 40-150 тыс. т ТБО в год. Эта технология предусматривает следующие процессы: прием и хранение отходов

под разрежением; сжигание отходов во вращающейся печи при температурах 850-950 °С; дожигание дымовых газов в вихревом дожигателе при температурах 1100-1300 °С; утилизацию высокопотенциального тепла в котле-утилизаторе; многоступенчатую очистку дымовых газов методом щелочной абсорбции; утилизацию низкопотенциального тепла тепловыми насосами. Гарантируется соответствие экологическим требованиям, в том числе, по диоксинам и фуранам. КРТС мощностью 40 тысяч тонн ТБО в год по выбросам эквивалентна двух работающим КАМАЗам. Основные элементы схемы успешно апробированы при переработке производственных отходов.

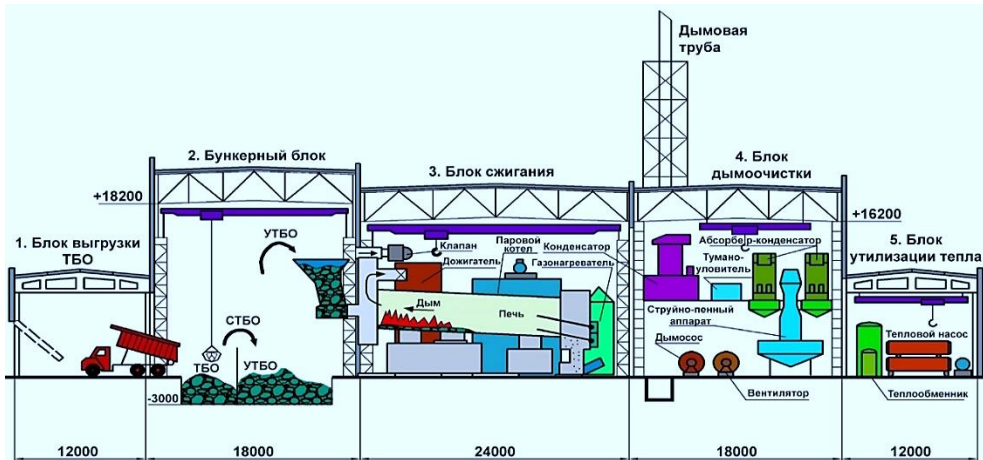


Рис. 6. Комплексная районная тепловая станция (КРТС) производительностью 150 тыс. т твердых коммунальных отходов в год

Наиболее перспективными в экологическом плане (но дорогостоящими) считаются плазменные методы переработки. Имеется большой опыт на уровне лабораторных установок у ряда научных групп. Примеров коммерческого применения не так много. Тем не менее, есть надежды на достаточно широкое применение плазмы для переработки отходов. Один из таких проектов показан на рис. 7. С помощью дуговых плазмотронов мощностью по 2 МВт производится газификация органической части отходов, а получаемый синтез-газ сжигается в газотурбинных установках ГТУ мощностью 16 МВт (АО «ОДК-Авиадвигатель», Пермь). Электроэнергия, генерируемая в ГТУ и, дополнительно, в паротурбинной установке ПТУ, идет на питание плазмотронов, а излишки поступают во внешнюю сеть, то есть реализуется парогазовый цикл. Отметим, что после плазменной обработки получается полностью нейтральный шлак, пригодный для дорожного строительства. При определенных схемах включения и для определенных тарифов на утилизацию ТКО достигается экономическая окупаемость, хотя главным препятствием для применения плазменных методов является дороговизна оборудования и эксплуатационных затрат.

Оригинальное и очень перспективное направление в сфере переработки

как твердых, так и жидких отходов связано с методом конверсии органических веществ в сверхкритической воде СКВ. СКВ – активный растворитель органических веществ и кислорода ($P > 22$ МПа, $T > 374$ °С). Возможные применения: конверсия органических веществ в жидкое углеводородное топливо (ЖУВТ); сжигание органических веществ с получением высокоэнтальпийных продуктов для энергетических установок. Среди исследованных органических веществ: уголь, нефтяные остатки, биологические илы, канализационные стоки.

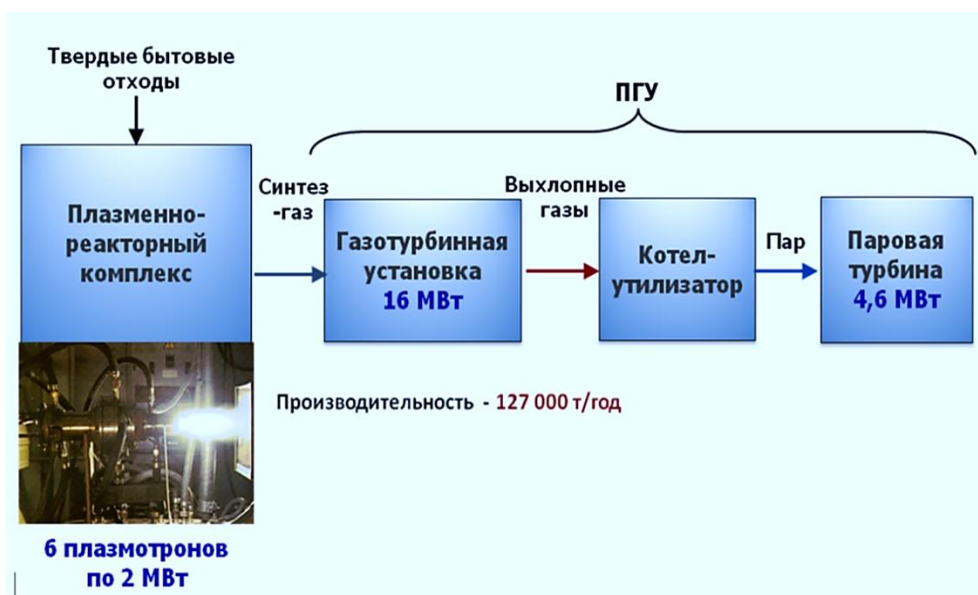


Рис. 7. Комплекс плазменной переработки ТКО с использованием газовых турбин АО «ОДК-Авиадвигатель» мощностью 16 МВт. Производительность: 127 000 тонн ТКО в год

Заманчивая технология базируется на технологии водоугольного топлива (ВУТ), когда в топочной камере твердое топливо сжигается в виде смеси с водой (рис. 8).

ВУТ представляет собой вязкую суспензию, которая на 65% состоит из угля, а остальное – вода с небольшой добавкой пластификатора с целью снижения вязкости и скорости оседания твердых частиц. Суспензия может храниться без расслоения в течение месяца. ВУТ был предложен довольно давно, и основная идея состояла в том, чтобы не перевозить уголь по железной дороге, а гнать по трубе на станцию. Впоследствии была разработана новая концепция и полностью отработана новая технология сжигания, что защищено более чем 20 патентами, включая международные. ВУТ, приготовленный в заводских условиях, предлагается развозить на котельные наземным транспортом как жидкое топливо.

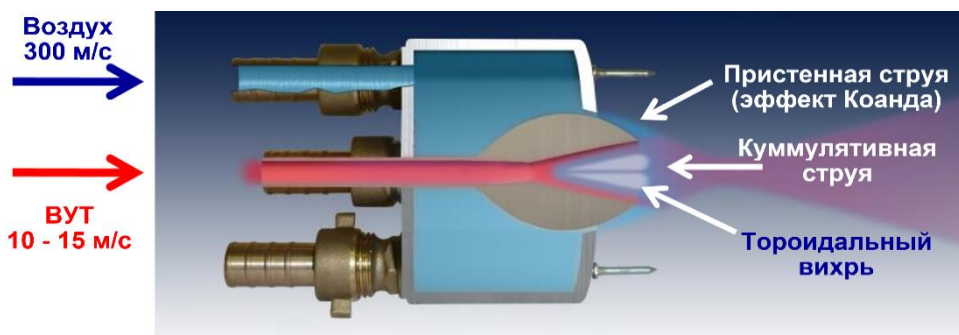


Рис. 8. Схема форсунки для сжигания водоугольного топлива ВУТ

В 2015 году в г. Кемерово была построена опытная котельная мощностью 2 МВт, работающая на аналоге водоугольного топлива – жидком кеке, который является побочным продуктом процессов углеобогащения. А отходы углеобогащения представляют собой глобальную мировую проблему угольной индустрии, в чем и проявляется связь с отходами как видом ВИЭ. Недавно подготовлен к пуску котел мощностью 10 МВт, планируемый в качестве базового источника энергии для малой энергетики.

Малая гидроэнергетика

В этом разделе хочется обратить внимание на проект, в соответствии с которым предполагается проводить исследования в натуральных условиях, что принципиально важно, как для большой, так и малой гидроэнергетики. Речь идет о восстановлении высоконапорной гидравлической лаборатории (ВГЛ) на Красноярской ГЭС – установке класса Mega Science. Лабораторная база ВГЛ включает в себя лабораторный зал с плановыми размерами 100×18 м и высотой 18 м, операторские помещения, три напорных водовода и комплекс экспериментальных установок. Напор достигает 100 м, а скорость потока – до 45 м/с. По параметрам ВГЛ не имеет аналогов в мире! На ее базе предлагается создание Международного центра.

Накопители энергии

Развитие ВИЭ немыслимо без создания систем хранения энергии в самых разных ее видах. Наиболее известные из них: ГАЭС (гидроаккумулирующая ЭС); ТАЭС (твердотельная аккумулирующая ЭС); электрохимические аккумуляторы; топливные элементы (ТЭ); маховики; суперконденсаторы. Я коснусь только трех интересных проектов. Первые из них связаны с компактными топливными элементами двух типов – на боргидридах и алюминии. Топливные элементы на растворах боргидридов относятся к безопасным устройствам в отличие от другого ТЭ на жидком топливе – с использованием метанола. Топливный элемент на боргидридах разрабатывался в Израильской компании More Energy при непосредственном участии ИТ СО РАН. В итоге было организовано первое в мире промышленное производство компанией Medis Technologies Ltd. на заводе в Ирландии с

производительностью 1,5 млн. ед./месяц. Разработанный в ИТ СО РАН топливный элемент на алюминии интересен тем, что алюминий играет роль топлива и анода одновременно (рис. 9). Характерные его параметры: мощность 100 Вт, сухой вес 1,9 кг, время непрерывной работы 11-12 часов, напряжение 14-24 В, энергоемкость 1200 Вт ч, удельная энергоемкость 300 Вт ч/кг.

Сравнение этих двух типов ТЭ с широко распространенным литий-ионным аккумулятором показывает явные преимущества воздушно-алюминиевых топливных элементов, да еще с учетом возможности работы в арктических условиях. Последний пример опять относится к израильской компании GenCell, преемнику упомянутой выше компании. В партнерстве с Институтом теплофизики разработаны и серийно выпускаются два типа топливных элементов. Топливный элемент на водороде: 1 стандартного баллона водорода хватает на 3 часа работы при мощности 4 кВт. То есть, это уже реально локальный источник энергии. Есть и более интересный вариант – топливный элемент на аммиаке, который является массовым продуктом химической промышленности. Из аммиака сначала производится водород, а непосредственно в ТЭ поступает смесь 75% H_2 + 25% N_2 , но не чистый водород. Трех килограммов аммиака достаточно для выработки 5 кВт час электроэнергии. Компания GenCell предлагает на льготных условиях организовать производство этих топливных элементов в России.



Рис. 9. Воздушно-алюминиевые топливные элементы, разработанные в Институте теплофизики СО РАН.
Мощность 100 Вт. Сухой вес 1,9 кг. Время непрерывной работы 11-12 часов. Напряжение 14-24 В. Энергоемкость 1200 Вт ч. Удельная энергоемкость 300 Вт ч/кг

Низкопотенциальная энергетика

В заключительной части доклада я коснусь еще одной важной (опять, особо важной для России) темы – энергосбережения и тесно связанной с ним низкопотенциальной энергетикой. Потенциал энергосбережения России огромен – 40 % общего энергопотребления! Можно вообще не создавать, казалось бы, новых источников энергии, довольствуясь достигнутым. Но реализация потенциала энергосбережения тоже требует немалых затрат, поэтому здесь требуется тщательный анализ. Во многих странах основой энергоресурсосбережения (с экономией топлива – до 50%) являются тепловые насосы и холодильные машины, объединенные общим термином термотрансформаторы. Однако невозможно дать общей рекомендации по применению термотрансформаторов. Эффективность их применения зависит от региона и многих других факторов. Так в Швеции 22% домов (350 000) обогреваются тепловыми насосами, но там имеется большая прибрежная зона с незамерзающей водой. К 2020 г. вклад тепловых насосов в теплоснабжение в развитых странах по оценке составит 75%! В России тепловые насосы невозможно использовать для централизованного теплоснабжения, поскольку требуется температура 115 °С, а тепловой насос выдает не более 90 °С. Однако возможно теплоснабжение индивидуального жилья, либо необходимо создавать новые системы теплоснабжения на более низких температурах. Пример теплонасосной установки мощностью 7 МВт, состоящей из двух абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов АБТН-600Т с газовой топкой, приведен на рис. 10.



Рис. 10. Теплонасосная установка мощностью 7 МВт, состоящая из двух абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов АБТН-600Т с газовой топкой (ИТ СО РАН, «Теплосибмаш»)

Заключение

Сейчас в энергетике властвует экономика. Производство энергии за счет ВИЭ обходится гораздо дороже в сравнении с традиционной энергетикой. Но следует высказать несколько комментариев. Во-первых, с быстрым развитием новых технологий уже в ближайшее время ожидается существенное снижение себестоимости энергии, производимой из ВИЭ. Особенно это касается геотермальной энергии. Если исходить из понятия нормированной себестоимости (см. табл. 1), которая определяется по сроку службы оборудования и всем прямым и косвенным затратам, включая экологические мероприятия, то цифры таковы (оценки для США на 2020 г.): электростанции на природном газе (обычные) – 7,5 цент/кВт·ч; на природном газе (усовершенствованные, т.е. с секвестированием углекислого газа) – 10,0; геотермальные станции – 4,8. Комментарии излишни. Во-вторых, даже не используя ВИЭ в энергоснабжении страны можно производить технологии и продавать их на внешнем рынке. У России такой потенциал есть. В-третьих, должна быть некоторая критическая «масса» в производстве любого продукта, иначе продукт будет золотым по себестоимости. На недавно прошедшем в Москве Международном конгрессе по ВИЭ REENCON-XXI прозвучала такая цифра – 5% доля установленной мощности ВИЭ к 2035 году для РФ. Наконец, в-четвертых, при быстром переходе большинства стран на ВИЭ Россия может потерять многих покупателей органического топлива, а значит лишиться главного источника своих доходов.

Таблица 1

Нормированная себестоимость производства электроэнергии
на примере США (2020 г.)

Тип электростанции	Себестоимость, цент/кВт·ч
Природный газ – <i>обычные</i>	7,5
Угольные <i>обычные</i>	9,5
Природный газ – <i>усовершенствованные</i>	10,0
Угольные <i>усовершенствованные</i>	14,4
Атомные <i>усовершенствованные</i>	9,5
ГЭС	8,4
Ветровые	7,4
Фотоэлектрические	12,5
Биомасса	10,0
Геотермальные	4,8
Петротермальные (2030 г.)	6,0

В заключение сформулированы предложения по развитию перспективных технологий ВИЭ в России с тем, чтобы они могли быть отнесены к статусу прорывных технологий как с точки зрения существенного вклада в национальную экономику, так и высокой конкурентоспособности на внешнем рынке. Считать целесообразным развивать следующие направления в виде комплексных научно-технических программ или проектов:

1. Технологии получения **поликристаллического кремния** солнечного качества и организация производства кремниевых **солнечных модулей**, в том числе на гибкой подложке.

2. Автономные источники энергии на базе **ветроэлектрических** установок, включая гибридные **ветро-дизельные** электростанции, в том числе для **арктических** условий.

3. Технологии **геотермальной** энергетики, предусматривающие развитие бинарных станций и освоение **глубинного** тепла в перспективе.

4. Комплексные системы обращения с ТКО (**твердые коммунальные отходы**), включающие методы термического обезвреживания и выработку тепловой и электрической **энергии**.

5. Технологии **низкопотенциальной** энергетики на базе **темотрансформаторов** (тепловых насосов и холодильных машин).

6. Комплексные научные исследования причин изменения **климата** в свете принятия решений по **Парижскому соглашению** и выработке рекомендаций по структуре и развитию топливно-энергетического комплекса страны.

Литература

1. Renewables information: Overview. International Energy Agency. 2017

2. Вихревые технологии для энергетики / А.И. Леонтьев, С.В. Алексеенко, Э.П. Волчков, Б.В. Дзюбенко, Ю.Г. Драгунов, С.А. Исаев, А.А. Коротеев, Ю.А. Кузма-Кичта, И.А. Попов, В.И. Терехов; под общ. ред. ак. А.И. Леонтьева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 328 с.

3. да Роза А. 2010. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. – М.: Издательский дом «Интеллект». 704 с.

4. Alekseenko S.V. Efficient Production and Use of Energy // Chapter 3 in Book: Sustainable Energy Technologies, ed. K. Hanjalic, R. Van de Krol, A. Lekic. Springer, 2008. P. 51-74.

5. DiPippo R. 2005. Geothermal power plants. Principles, applications and case studies. Oxford, UK: Elsevier.450 p.

6. Алексеенко С.В., Бородулин В.Ю., Гнатусь Н.А., Низовцев М.И., Смирнова Н.Н. Проблемы и перспективы развития петротермальной энергетики // Теплофизика и аэромеханика, 2016. – Т. 23, № 1. – С. 1–6.

7. Елистратов В.В. 2013. Возобновляемая энергетика. - СПб: Наука, 308 с.

В.И. Бухтияров¹

Предложения рабочей группы «Добыча, транспортировка и переработка углеводородного сырья»

Я выступаю как руководитель рабочей (экспертной) группы по данному направлению.

В рамках обсуждения большой комплексной научно-технической программы мы предлагали формирование двух комплексных научно-технических проектов – «Добыча» и «Переработка»:

1) Перспективные направления развития технологий добычи и транспортировки углеводородного сырья (КНТП «Добыча»);

2) Технологии и катализаторы глубокой и эффективной переработки углеводородного сырья (КНТП «Переработка»).

Хочу сразу отметить, что мы должны достаточно серьезное внимание уделить обсуждению механизмов формирования комплексных научно-технических программ, потому что, как вы знаете, сейчас происходит изменение системы финансирования таких работ. Если раньше это была федеральная целевая программа исследований и разработок, то теперь это будет проходить через КНТП, а также через Национальный проект «Наука», о чем сегодня говорила Т.А. Голикова. В этих источниках заложены достаточно серьезные средства, которые будут тратиться на эти проекты.

Единственное отличие, что эти проекты должны делаться сквозными, как уже говорил А.М. Кашин в своем выступлении по данному приоритету, то есть обеспечивать связанность этой идеи до разработки. Очевидно, что главными по таким проектам должны быть наши бизнес-партнеры.

Немного о переработке углеводородного сырья. Почему это действительно важно? Есть огромный рыночный потенциал:

– Обеспечение прироста запасов углеводородного сырья до 50 млрд. тонн;

– Рост производства высококачественного моторного топлива до 1000 млрд. руб. в год;

– Прирост производства высокомаржинальной продукции за счет вовлечения нефтезаводских газов, природного газа и газового конденсата – до 600 млрд. руб. в год;

– Вовлечение в переработку тяжелого нефтяного сырья – до 1000 млрд. руб. в год;

– Рост производства высокотехнологических синтетических материалов в 2,5-3 раза (до 2500 млрд. руб. в год).

И если говорить о переработке, то, реализуя правильным образом эти проекты, можно обеспечить рост производства высококачественного моторного топлива до одного триллиона рублей в год. Эти цифры взяты не с потолка, это экспертная оценка вместе с нефтеперерабатывающими компаниями.

¹ Директор Института катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН, академик РАН

Обеспечить прирост производства высокомаржинальной продукции за счет вовлечения природного газа и газового конденсата – тоже серьезные деньги; также за счет вовлечения в переработку тяжелого нефтяного сырья. Ну и наконец, рост производства высокотехнологических синтетических материалов в 3-3,5 раза.

Мы предлагаем структуру таких программ. Они должны выйти через направления и соответствующие комплексные проекты или проекты инновационного цикла. Для каждого направления они были представлены.

Потребителями таких проектов, должны выступить крупные нефтеперерабатывающие компании и компании нефтехимии. В результате использования этих разработок может быть обеспечен:

- Выпуск моторного топлива высоких экологических стандартов, арктического (зимнего) топлива;
- Производство отечественных катализаторов нефтепереработки и нефтехимии;
- Вовлечение тяжелых фракций и газов в производство топлив и продукцию нефтехимии;
- Производство базовых мономеров, полимеров современных марок;
- Улучшение экологических показателей предприятий нефтехимии и нефтепереработки.

А.Э. Конторович¹ **Об освоении ресурсов Баженовской свиты**

Большое спасибо за предоставленную возможность выступить. Регламент обязывает меня быть предельно кратким.

Доклады, которые мы заслушали, все без исключения, включая вступительное слово В.Е. Фортова, были чрезвычайно интересны и в целом достаточно широко осветили проблемы. Но при этом, если не считать водородной и ядерной энергетики, даже в блестящем докладе члена-корреспондента РАН О.Е. Аксютина вопрос, откуда берется газ для тех гигантских проектов, которые мы реализуем, остался «за кадром». А ведь еще после Второй мировой войны мы практически не имели ни нефтяной, ни газовой промышленности. Это уникальное достижение нашей науки, это достижение геологической науки, которое трудно переоценить и которое нужно сравнивать по значимости с созданием атомного щита и космического щита России.

Теперь, по существу. Оценки показывают, что традиционных ресурсов нефти для удержания добычи на современном уровне, напомним, что в годы, когда цена нефти высокая, это минимум 50% бюджета, но и в годы низкой цены все равно это огромная цифра – 36% бюджета. Поэтому все наши сценарии, если мы не будем устойчиво развивать нефтяную и газовую промышленность, все наши сценарии развития высокой науки, которые требуют бюджета, будут фантазией.

Что делать нам в условиях предстоящей неизбежной падающей добычи нефти в стране, если мы не примем определенных мер? Есть четыре-пять направлений, в том числе и арктическое. Оно, замечу, последнее не по значимости, а последнее по времени освоения. Ранее середины XXI века мы не будем готовы к освоению арктической нефти и газа чисто технологически. Но есть уже сейчас четкие и ясные мероприятия, которые позволяют освоить, поддержать и даже увеличить добычу нефти в стране.

Назову два объекта. Один объект – это брошенные нами мелкие и мельчайшие месторождения, которые могут давать до 100 млн тонн нефти в год. Необходима соответствующая реформа законодательства и нормативной базы, необходима правильная работа финансовых органов. Не требуется супервысоких технологий для решения этой задачи. Но это задача проходящая и преходящая. Долгосрочная задача. В Западной Сибири есть уникальный объект, его называют «Баженовская свита». Аналогом этой толщи является «Доманиковская свита» на Востоке Восточноевропейской платформы. Наконец, аналогичные толщи есть и в Восточной Сибири, и на Северном Кавказе.

Мы предлагаем четкий и ясный проект освоения ресурсов Баженовской свиты. Сегодня технологии для взятия этой нефти в мире нет. По ресурсам она не уступает тому, что мы добыли в Западной Сибири за последние 60 лет.

¹ Советник РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, академик РАН

Однако по разным понятным и полупонятным причинам этот объект (вне зависимости от того, кто этим будет заниматься – наш институт или другие) все время выпадает из планов и интересов при планировании науки на годы. Между тем, альтернативы этой программе для поддержания и развития нефтяного комплекса нет.

Регламент не позволяет остановиться на деталях. Я подробно докладывал об этом Президенту РФ, я докладывал об этом в Министерстве энергетики. Я докладывал об этом нашему президенту и В.Е. Форткову. Все вроде бы согласны, но третий год разговор идет, «а воз и ныне там».

Фактор времени является решающим. Скорее всего, я не доживу до того времени, когда мы решим эту задачу. На свою сланцевую нефть американцы потратили 30 лет. Я обещал президенту, что за семь-десять лет эту задачу мы решим и затратим на это в пять-шесть раз меньше денег, чем затратили американцы.

Задача в одном – создать мультидисциплинарный научный коллектив из физиков, математиков, механиков, геологов, геофизиков и реализовывать проект, который достаточно подробно разработан. Надеюсь, что он будет работать на будущее нашей страны.

С.М. Алдошин¹

О формировании проектов полного инновационного цикла

Несколько слов о возможных способах создания кооперации и создания проектов полного инновационного цикла, к чему нас призывает и Указ Президента, и Постановление Правительства.

Фактически это третья попытка государства организовать такие проекты. Первая попытка была сделана по созданию технологических платформ. И Академия наук принимала активное участие в их разработке. В том числе существует платформа по добыче и переработке углеводородов. Затем в рамках технологических платформ была создана программа инновационного развития.

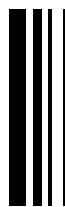
Но, к сожалению, эти попытки организовать такие сквозные проекты не дали нужного эффекта. Крупные компании, которые должны были разработать программы инновационного развития, в которых должно было быть заложено финансирование внешних компаний и институтов на разработку проектов для их нужд, в отчетах они показывали просто внутренние затраты и говорили, что это финансирование вот таких внешних разработок. Поэтому у нас, к сожалению, и нет крупных разработок, созданных с Академией наук.

Затем была сделана третья попытка – это национальная технологическая инициатива президента. И в рамках этого разработано 10 новых рынков, которые должны заработать через 10-15 лет. И один из этих рынков – это рынок энеджерджинет, в рамках которого должны быть созданы для энергетики сквозные технологии и решены технологические барьеры.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации было создано 6 крупных центров компетенции. Об одном из них говорил А.М. Кашин. Фактически центр компетенции – это консорциум крупных компаний науки и образования для решения проблем, в том числе и энергетики. Вот центр, о котором говорил Кашин, он хоть и создан на базе Института проблем химической физики, на самом деле включает с десяток крупных компаний. И к этому мы подошли не сразу. Опыт работы Кашина показывает, что такая модель работает. Он выступает в тех институтах стратегическим партнером, вкладывает свои деньги в развитие тех технологий, которые нужны компании. Это привело к созданию совместных сквозных лабораторий, студенческому конструкторскому бюро, специальных программ совместно с МГУ подготовки кадров для работы в этой области.

Поэтому, если мы таким образом организуем работу и, в частности, построим наши контакты с Газпромом, то у нас есть шанс, что такие взаимодействия с крупными компаниями закончатся не только подписанием соглашений и программ, которые часто не очень эффективно работают, а созданием проектов полного цикла.

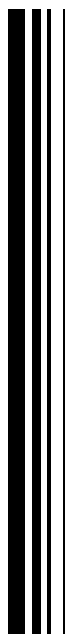
¹ Директор Института проблем химической физики РАН, академик РАН



П Р И О Р И Т Е Т

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

**«Переход к передовым цифровым,
интеллектуальным производственным технологиям,
роботизированным системам, новым материалам
и способам конструирования,
создание систем обработки больших объемов
данных, машинного обучения и искусственного
интеллекта»**



Председатель Совета по приоритету –
академик РАН КАЛЯЕВ И.А.

И.А. Каляев¹

Вступительное слово председателя совета по приоритету

Основной целью Стратегии Стратегию научно-технологического развития России является обеспечение независимости и конкурентоспособности страны за счет создания эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала науки, а также трансформации науки и технологий в ключевой фактор развития России и обеспечение способности страны эффективно отвечать на «большие вызовы». Реализация Стратегии поручена РАН. Решением Совета по науке и образованию при Президенте РФ от 19.12.2017 № 38 были созданы 7 Советов по приоритетным направлениям Стратегии, в том числе данный Совет с основными задачами:

1. Развитие цифровой экономики страны, в которой цифровые, интеллектуальные и робототехнические технологии будут являться ключевым фактором повышения производительности труда во всех сферах социально-экономической деятельности.

2. Повышение конкурентоспособности страны на глобальном рынке наукоемкой продукции, создаваемой с использованием цифровых интеллектуальных и робототехнических технологий.

3. Формирование долгосрочной стратегии и комплексных научно-технических программ в области разработки, создания и внедрения цифровых, интеллектуальных и робототехнических технологий, отвечающих Большим вызовам и направленным на развитие цифровой экономики России.

Персональный состав Совета был утвержден приказом Министра науки и высшего образования № 733 от 04 октября 2018 г.

Среди членов Совета 9 членов РАН, в том числе 4 академика и 5 членов-корреспондентов, по 7 представителей ведущих научных центров и ведущих университетов страны, 5 представителей крупного бизнеса и 5 представителей федеральных органов исполнительной власти и государственных корпораций.

На заседании Совета были сформированы и утверждены секции Совета, в состав которых включены члены Совета и приглашенные специалисты:

Секция 1. Анализ больших данных, искусственный интеллект и машинное обучение.

Руководитель: академик РАН И.А. Соколов.

Члены секции: член-корреспондент РАН Т.А. Аушев (МФТИ), к.ф.-м.н. В.Е. Велихов (НИЦ «Курчатовский институт»), к.э.н. О.Н. Покусаев (РУТ), д.ф.-м.н. В.К. Демин (Московский индустриальный банк), д.т.н. М.А. Шахраманьян (НИИ «Аэрокосмос»), М.А. Натензон (НПО «Национальное телемедицинское агентство»), д.т.н. О.П. Скобелев (НПК «Разумные решения»).

Секция 2. Распределенные вычисления и суперкомпьютерные технологии.

Руководитель: член-корреспондент РАН В.В. Воеводин.

¹ Директор Научно-исследовательского института многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета, академик РАН

Члены секции: д.т.н. В.В. Кореньков (ОИЯИ), В.Ю. Опанасенко (АО «Т-платформы»), к.т.н. Б.М. Шабанов (МСЦ РАН), д.т.н. М.М. Хасанов (НТЦ «Газпромнефть»), академик РАН Б.Н. Четверушкин (ИПМ РАН), член-корреспондент РАН С.Д. Варфоломеев (МГУ), д.т.н. В.С. Заборовский (СПбПУ), проф. РАН М.А. Марченко (ИВМиМГ СО РАН).

Секция 3. Цифровые интеллектуальные производственные технологии.

Руководитель: академик РАН А.И. Рудской.

Члены секции: к.т.н. А.А. Зеленский (МГТУ «СТАНКИН»), к.т.н. Д.Ю. Колодяжный (ОСК), д.т.н. В.Г. Передерий (ЮРГПУ), чл.-к. РАН Е.В. Шахматов (СамГУ), к.т.н. А.И. Боровков (соруководитель Технет НТИ), Я.Я. Коп (АО «Синара – Транспортные машины»), А.И. Глазунов (НПО «Центротех» ТВЭЛ), д.т.н., проф. РАН И.Л. Ермолов (ИПМех РАН).

Секция 4. Интеллектуальные робототехнические системы, технологии виртуальной и дополненной реальности.

Руководитель: академик РАН С.Ю. Желтов. Члены секции: д.т.н. Г.О. Котиев (МВТУ им. Баумана), А.В. Фомин (АО НПК «Уралвагонзавод»), чл.-к. РАН А.Ф. Щербатюк (ИПМТ ДВО РАН), д.т.н. А.В. Лопота (ЦНИИ РТК), д.т.н. З.А. Годжаев (ВИМ РАН), д.т.н. И.Н. Розенберг (АО «НИИ АС» РЖД), д.ф.-м.н. В.В. Мясников (Самарский филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН), проф. РАН Ю.В. Визильтер (ГосНИИАС), проф. РАН К.В. Воронцов (МФТИ).

Секция 5. Системы распределенного реестра и информационная безопасность.

Руководитель: член-корреспондент РАН А.И. Аветисян.

Члены секции: к.ф.-м.н. В.Е. Велихов (НИЦ «Курчатовский институт»), д.ф.-м.н. А.А. Белеванцев (ИСП РАН), А.П. Духвалов (Лаборатория Касперского), д.ф.-м.н. В.А. Галатенко (ФИЦ НИИСИ РАН), д.т.н. Г.С. Елизаров (ФГУП «НИИ «Квант»), А.С. Игумнов (СЦ ИММ УрО РАН), д.ф.-м.н. А.Г. Марчук (ИСИ СО РАН), д.т.н. С.А. Петренко (ЦИБ Университета «Иннополис»).

Секция 6. Новые инфокоммуникационные технологии.

Руководитель: член-корреспондент РАН С.М. Абрамов.

Члены секции: Б.М. Глазков (ПАО «Ростелеком»), д.т.н. А.А. Волков (НИУ МГСУ), д.ф.-м.н. Н.В. Суетин (Фонд «Сколково»), чл.-корр. РАН А.В. Дворкович (МФТИ), академик РАН И.В. Бычков (ИДСТУ СО РАН), академик РАН Г.И. Назаренко (ФИЦ ИУ РАН), д.т.н. И.Г. Малыгин (ИПТ РАН), д.т.н. А.Л. Ронжин (СПИИ РАН).

Секция 7. Новые материалы и способы конструирования.

Руководитель: д.т.н. А.В. Дуб.

Члены секции: А.Н. Тимофеев А.Н. (ПО «Композит»), д.х.н. Авдеев В.В. (МГУ, АО «Инумит»), д.т.н. О.Г. Оспенникова (ВИАМ), В.В. Орлов (ЦНИИТМАШ), член-корреспондент РАН Т.А. Аушев (МФТИ), академик РАН Ю.Н. Кульчин (ИАПУ ДВО РАН), проф. РАН В.К. Иванов (ИОНХ РАН).

На заседаниях Совета были рассмотрены концепции трех комплексных научно-технической программ полного инновационного цикла.

Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин (МГУ им. М.В. Ломоносова) представил проект концепции КНТП «Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков». Целью программы является обеспечение полноты групп суперкомпьютерных технологий, необходимых для создания новых и развития трансформируемых рынков с одновременным формированием необходимой высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры, обеспечивающей качественно новый уровень развития ключевых отраслей в условиях «цифровой экономики». Совет одобрил проект концепции КНТП и рекомендовал его к представлению на Координационном Совете и на научной сессии Общего собрания РАН.

Проект концепции КНТП «Фотонные и оптоинформационные технологии в новом цифровом мире», подготовленный под руководством академика РАН В.А. Сойфера, представил проф. Р.В. Скиданов (ИСОИ РАН). Целью программы является формирование сквозных технологий, исследовательской и производственной инфраструктуры, системы подготовки и переподготовки кадров, обеспечивающих значимую долю продукции и услуг российских организаций на мировом рынке фотоники и оптоинформационных технологий. Совет принял решение в основном одобрить представленный проект и провести его дальнейшую доработку с учетом высказанных замечаний и предложений, а также привести в соответствие с профилем деятельности Совета. С этой целью сформирована рабочая группа под руководством академика РАН С.Ю. Желтова.

Проект концепции КНТП «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России» был представлен директором ФИЦ «Информатика и управление» РАН академиком РАН И.А. Соколовым.

Целью программы является формирование национальной стратегии в области искусственного интеллекта, основанной на комплексном и взаимосвязанном проведении соответствующих фундаментальных исследований и прикладных разработок, создании передовых цифровых интеллектуальных технологий и их широком внедрении в различных отраслях цифровой экономики России.

Совет принял решение одобрить проект и рекомендовать его к представлению на Координационном Совете и на научной сессии Общего собрания РАН. В соответствии с решением Совета по каждой из поддержанных КНТП были сформированы доклады для представления на Научной сессии Общего собрания РАН. В их состав входили основной доклад, целью которого является научно-техническое обоснование КНТП, а также по четыре содоклада, раскрывающие прикладные аспекты применения разрабатываемых в рамках КНТП технологий в тех или иных областях науки, техники и промышленности.

Среди содокладчиков представители 5-ти отделений РАН, что подчеркивает междисциплинарный характер представляемых КНТП, а также по четыре представителя бизнеса и промышленности, что позволяет сделать вывод об их практической значимости и востребованности результатов КНТП со стороны бизнеса и промышленности.

В.В. Воеводин¹

Суперкомпьютерные технологии в цифровом мире: теория, практика, образование

Суперкомпьютерные технологии сегодня используются повсюду, определяя конкурентоспособность науки, индустрии, государства. США, Европа, Китай, Япония вкладывают миллиарды в развитие суперкомпьютерных технологий, продвигая национальные программы для развития данной области, формируя основу для будущего развития. Недооценка значения суперкомпьютерных технологий приводит к тому, что Россия не только пропускает мировой тренд, но и упускает уникальный шанс использования огромного потенциала российских специалистов. России необходима комплексная суперкомпьютерная программа, и медлить нельзя.

Широкое практическое применение суперкомпьютерных технологий оказывает сейчас и будет оказывать еще большее влияние в будущем на развитие науки, промышленного производства, общества и государства в целом. Фактически, суперкомпьютерные технологии являются не только важнейшей составляющей, но и лежат в основе актуальных направлений развития, выполняя роль интегрирующей компоненты и инструмента обеспечения конкурентных преимуществ наиболее крупных и динамично развивающихся экономик мира.

В настоящее время суперкомпьютерные технологии – это неотъемлемая часть цифровой экономики, о которой сейчас много говорится. США, Европа, Китай, Япония вкладывают миллиарды в развитие суперкомпьютерных технологий, формируя национальные программы для развития данной области. Девизом комитета по конкурентоспособности США (Council on Competitiveness) является: «To out-compete is to out-compute», который можно перевести так: «В конкурентной борьбе победит тот, кто победит в вычислениях». Основная мысль – здесь необходимо быть лидером, или, по крайней мере, нужно владеть этими технологиями, иначе в будущем проиграешь.

Передовые компании большого числа отраслей экономики давно сделали суперкомпьютерные технологии частью своей технологической цепочки. Авиастроение, автомобилестроение, судостроение, проектирование космической техники, фармацевтика, добывающие отрасли, энергетика, кинематограф и многие другие используют суперкомпьютер как инструмент обеспечения своей конкурентоспособности (рис. 1). Снизить издержки производства, ускорить выход на рынок, решить точнее, быстрее, перейти к задачам новой размерности – именно эти аргументы помогают предприятиям, внедряющим суперкомпьютерные технологии, становиться лидерами.

Крайне важно и то, что высокопроизводительные вычисления являются драйвером других технологий, порождая и обеспечивая не просто устойчивое,

¹ Заместитель директора Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ им. М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН

а революционное развитие целого множества областей: предсказательное математическое моделирование, многовариантная оптимизация, искусственный интеллект, машинное обучение, глубинное обучение, технологии работы с Большими Данными. Более того, суперкомпьютерные технологии по своей природе являются сквозными технологиями, активно используемыми как для решения задач всех приоритетов, так и для формирования ответов на «большие вызовы», определенные Стратегией научно-технологического развития России. Недоценка значения суперкомпьютерных технологий приводит к тому, что мы не только пропускаем мировой тренд, но и упускаем уникальный шанс использования огромного потенциала российских специалистов.



Рис. 1. Суперкомпьютерные технологии и промышленность (июнь 2018 г.)

По состоянию на ноябрь 2018 г. лидером рейтинга Топ 500 [1] самых мощных суперкомпьютеров мира является суперкомпьютер IBM Summit с производительностью 200 Pflops ($200 \cdot 10^{15}$ операций в секунду). Самый мощный российский суперкомпьютер МГУ Ломоносов-2 находится в списке на 79-й позиции. Россия занимает 17-е место в мире по общему количеству эксплуатируемых суперкомпьютерных систем (3 суперкомпьютера в списке), лидируют по этому показателю Китай (227 систем) и США (109 системы), Япония – 31, UK – 20, Германия – 17. Согласно данной редакции списка всего в мире 429 суперкомпьютера с производительностью выше 1 Tflops, в России – лишь 2. Для попадания в список Топ 500 на последнее 500 место нужна производительность 875 Tflops на тесте Linpack.

Список Top500 дает исключительно богатую пищу для размышлений. В частности, если проанализировать место установки суперкомпьютеров списка, то окажется, что 54.6% систем установлены в промышленности. Более половины самых мощных суперкомпьютеров мира приобретены предприятиями реальных секторов экономики, что является самым убедительным аргументом в целесообразности использования суперкомпьютерных технологий.

Подтверждения востребованности суперкомпьютерных технологий можно найти повсюду. Итальянская энергетическая компания Eni установила у себя суперкомпьютер с производительностью 18.6 Pflops, занимающий 15-е место в Top500 – в настоящее время это самый мощный суперкомпьютер мира, установленный в промышленности [2]. Компания D.E.Shaw Research на основе принципов кодизайна создала уже два поколения собственных суперкомпьютеров ANTON (сейчас в разработке третье поколение) для поддержки молекулярно-динамических расчетов и проектирования лекарственных препаратов. Киностудия Disney в 2016 году выпустила ленту «Книга джунглей» с бюджетом 175 млн. долларов. Для производства картины потребовалось 30 млн. процессорочасов, что является весьма значительным суперкомпьютерным ресурсом. Несмотря на столь большие вложения, картина стала исключительно успешным коммерческим проектом с кассовыми сборами около 1 млрд. долларов. Для сравнения: по данным исследования Фонда кино «Российская киноиндустрия – 2017» [3] сборы от всех российских фильмов в 2017 году составили 222,4 млн. долларов.

Да, чтобы много получать, нужно много вкладывать и опираться на передовые технологии.

Несмотря на ощутимое отставание в Российской Федерации делается попытка формирования структуры суперкомпьютерных центров в области образования и науки. Общая производительность указанных центров составляет около 17,4 Pflops.

Состояние суперкомпьютерного потенциала России с 2004 года постоянно отражается в списке Top 50 [4]. Согласно этому списку 47 из 50 суперкомпьютеров России располагаются ниже порога вхождения в мировой рейтинг. Сумма производительности всех 50 систем списка меньше, чем производительность одного упомянутого выше суперкомпьютера компании Eni.

Создание указанных центров носит «догоняющий» характер и осуществляется в отсутствии единой государственной политики развития суперкомпьютерной отрасли. При этом масштабность задач, решаемых российскими центрами по всем приоритетам Стратегии НТР, абсолютно не соответствует их реальным возможностям. А потребность в суперкомпьютерных ресурсах для нашей страны огромна. Рабочей группой Минобрнауки России проведен анализ потребности в СКТ в рамках ФОИВ, госкорпораций и организаций, в результате чего выделено более 700 задач, для решения которых требуются суперкомпьютерные ресурсы.

В настоящее время в России есть несколько суперкомпьютерных центров, но нет суперкомпьютерной инфраструктуры. Чтобы развивать суперкомпьютерную отрасль комплексно, необходимо развивать все компоненты суперкомпьютерных технологий и инфраструктуры, куда входят такие вопросы, как:

- Суперкомпьютерные системы и среды высокой производительности.
- Технологии разработки параллельных приложений.
- Технологии суперкомпьютерного кодизайна.
- Технологии инфраструктурной интеграции распределенных ресурсов.
- Предметно-ориентированные пакеты и сервисы.
- Технологии веб-сервисов масштабируемого доступа.
- HPC и смежные технологии, AI/ML/DL, Big Data.
- Суперкомпьютерные технологии в промышленности, бизнесе, обществе, государстве.
- Суперкомпьютерное образование.
- Суперкомпьютерные технологии и государство.

В настоящее время рабочей группой, куда входят специалисты Российской академии наук, Суперкомпьютерного консорциума университетов России, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, других организаций, разрабатывается комплексная научно-техническая программа «Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков». Программа направлена на использование потенциала суперкомпьютерных технологий (СКТ) для создания новых и развития трансформируемых рынков и обеспечения качественно нового уровня развития ключевых отраслей в условиях перехода к «цифровой экономике».

Группа технологий, относящихся к суперкомпьютерным, является базисом, определяющим рост и развитие таких мировых рынков, как:

- биотехнологии, включая персонифицированную медицину;
- рынки новых материалов;
- автомобилестроение;
- судостроение;
- станкостроение;
- авиакосмическая техника;
- разведка, добыча и транспортировка полезных ископаемых;
- функциональные продукты питания;
- робототехника и другие.

Группа суперкомпьютерных технологий принципиально важна для обеспечения национальной безопасности. Она оказывает существенное влияние на решение задач охраны окружающей среды, развитие систем управления сложными социальными и техническими системами, и в целом – систем управления и поддержки принятия решений.

Целью реализации комплексной научно-технической программы является обеспечение полноты групп суперкомпьютерных технологий, необходимых для создания новых и развития трансформируемых рынков с одновременным

созданием необходимой высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры, обеспечивающей качественно новый уровень развития ключевых отраслей в условиях «цифровой экономики».

На развитие приоритетных направлений практического использования стратегического потенциала СКТ в наибольшей степени влияет использование нескольких групп технологий, которые потенциально могут обеспечивать максимальный мультипликативный эффект. К таким группам относятся технологии:

- создания суперкомпьютерных систем максимальной производительности, взаимосогласованных методов решения вычислительно сложных задач, разработки суперкомпьютерных вычислительных ресурсов и программного обеспечения;
- организации вычислений на новых принципах: реконфигурируемые, квантовые, нейроморфные и другие;
- предсказательного суперкомпьютерного моделирования и оптимального проектирования;
- искусственного интеллекта и систем принятия решений;
- технологий визуализации данных и человеко-машинного взаимодействия;
- облачных вычислений и суперкомпьютерных сервисов, технологии распределенных вычислений.

В результате реализации разрабатываемой Программы будет обеспечено:

- формирование в Российской Федерации на базе отдельных российских научных и инженерных, в том числе математических школ сетевых платформ, обеспечивающих генерацию знаний и создание на их основе технологий, обеспечивающих развитие национального рынка и экспансию отечественных технологий в мировую экономику;
- создание набора современных технологий, необходимых и достаточных для перехода к цифровой экономике: внедрение в практику работы отечественных предприятий и организаций технологий цифровых двойников реальных объектов, цифровых фабрик, цифровых моделей, технологий суперкомпьютерного кодизайна, масштабируемых пакетов и систем математического моделирования, веб-сервисов, аналитических средств работы с большими данными, интеллектуальных производственных технологий;
- развитие и существенный рост эффективности значимых для Российской Федерации отраслей экономики за счет их трансформации и использования потенциала суперкомпьютерных технологий, включая технологии искусственного интеллекта, работы с большими данными;
- стабильный рост экспортного потенциала и снижение уровня импортозависимости высокотехнологичных предприятий России, повышение конкурентоспособности Российской Федерации на международном уровне за счет участия в новых, развивающихся рынках;
- вовлечение в «цифровой мейнстрим» значительного количества высококвалифицированных специалистов, способных внедрять и

использовать сквозные суперкомпьютерные технологии для развития перспективных рынков, в том числе цифровой трансформации системы государственного управления, экономики, бизнеса, социальной сферы, для адаптации отечественных предприятий к стандартам цифровой экономики, а также обеспечивать получение ответов на «большие вызовы», определенные Стратегией.

Основа реализации Программы – это комплексные научно-технические проекты полного инновационного цикла. Это совокупность скоординированных и взаимосвязанных научных, научно-технических и инновационных проектов, являющихся частями полного инновационного цикла: от получения научных и научно-технических результатов, создания перспективных и сквозных технологий, конкретных инновационных продуктов, до их практического использования и вывода на российский и зарубежные рынки в перспективе от 3 до 5 лет, и (или) формирование новых перспективных рынков в течение 5-10 лет.

Каждый комплексный проект направлен на повышение уровня зрелости перспективных и сквозных технологий, устранение технологических барьеров, разрывов между существующими научно-технологическими заделами и потребностями различных секторов экономики, а также создание опережающих заделов. И что принципиально важно, каждый комплексный проект объединяет специалистов РАН, университетов, суперкомпьютерных центров и индустрии, способствуя образованию устойчивых профессионально востребованных связей.

Исключительно важной задачей данной области является подготовка специалистов. Компьютерный мир за последние 10-15 лет полностью изменился: он всегда был последовательным, а стал параллельным. Параллельные вычисления – это не только основа суперкомпьютеров, это и то, что сегодня уже появилось в смартфонах и планшетах. Основы этих технологий начали проникать в высшее образование, но в силу их междисциплинарности и универсальности изменения должны проходить значительно шире и решительнее.

Резюме проведенного анализа – в России необходима комплексная суперкомпьютерная программа, и медлить нельзя.

Литература

1. www.Top500.org – список 500 самых мощных суперкомпьютеров мира.
2. Eni Takes the Lead in Industrial Supercomputing
<https://www.hpcwire.com/2018/01/23/eni-takes-lead-industrial-supercomputing/>
3. Исследования Фонда кино «Российская киноиндустрия – 2017», www.fond-kino.ru/documents/download/740/
4. <http://top50.supercomputers.ru> – список 50 самых мощных суперкомпьютеров России.

Вычислительная физика переживает этап бурного развития в последние тридцать лет, что связано как со стремительным ростом доступности и производительности вычислительной техники, так и с созданием отчуждаемых коммерческих и открытых программных пакетов, сделавших процесс проведения вычислительного эксперимента доступным для широкого круга инженеров и исследователей-экспериментаторов.

Роль вычислительных технологий в разработке современной аэрокосмической техники постоянно повышается. Надежные средства численного расчета позволяют существенно снизить стоимость и продолжительность экспериментальных работ, в частности при проведении сертификационных испытаний, а также дополнить экспериментальные результаты более глубоким анализом физических процессов, включая протекающие в реактивных двигательных установках и при взаимодействии обтекаемого тела с потоком газа (рис. 1).

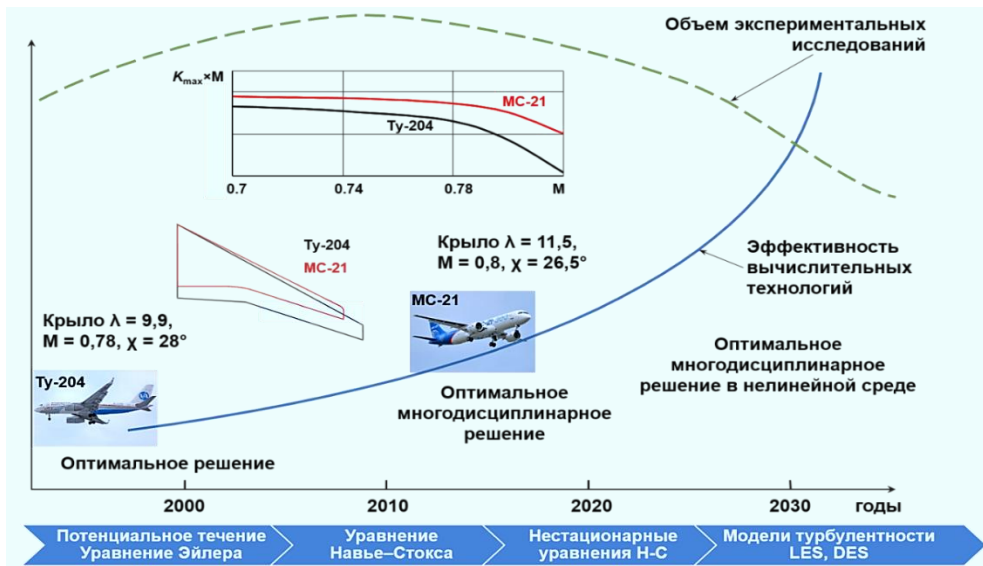


Рис. 1. Эффективность вычислительных технологий

Реальные вычислительные задачи аэрокосмической отрасли предъявляют жесткие требования к программным средствам численного моделирования. В частности, используемые программные пакеты должны быть надежно валидированы на предмет точного соответствия расчетных моделей физическим явлениям.

¹ Научный руководитель ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, академик РАН

² Директор ИТПМ СО РАН, член-корреспондент РАН

Вычислительные коды должны быть также в полной мере отчуждаемыми, то есть пригодными для использования сторонними пользователями, хорошо интегрироваться с системами автоматического проектирования, используемыми разработчиками аэрокосмической техники, а также быть пригодными к проведению вычислений на суперкомпьютерах, что подразумевает хорошую масштабируемость при распараллеливании на тысячи и десятки тысяч ядер. В связи с критической важностью аэрокосмического направления для развития экономики и безопасности страны, принципиальной задачей является создание так называемых «национальных кодов» – пакетов программ отечественного происхождения, обладающих перечисленными выше качествами.

Отметим, что даже при наличии лучших в мире национальных кодов наша страна не сможет в полной мере конкурировать в данной области на мировой арене без наличия в России суперкомпьютеров, сопоставимых по производительности с лучшими мировыми образцами. К сожалению, Россия очень сильно отстает в этой области от Китая, США, Японии, Южной Кореи, Саудовской Аравии и ряда европейских стран. По данным на июнь 2018 года только четыре отечественных суперкомпьютера входят в список ТОП 500 (для сравнения, у Китая более 200), а самый лучший компьютер «Ломоносов-2» (МГУ) находится на 74-м месте. При этом, как и во многих других областях знаний и технологий, в аэрокосмической области количественное отставание в вычислительных ресурсах означает качественное отставание, заключающееся в невозможности решать актуальные задачи на мировом уровне.

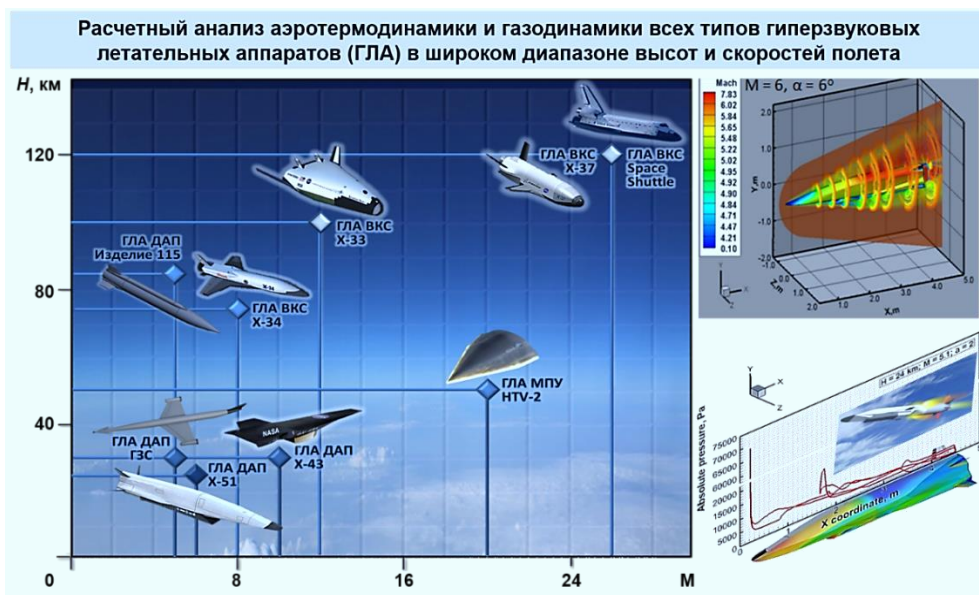


Рис. 2. Система специализированных национальных компьютерных кодов

Представлен обзор опыта российских научных организаций в области разработки и применения национальных программных пакетов на основе суперкомпьютерных технологий для решения аэрокосмических задач (рис. 2). В частности, будет рассказано об опыте ГНЦ «ЦАГИ», ИТПМ СО РАН и других отраслевых институтов, а также Российской академии наук в области создания уникальных пакетов программ для решения задач аэротермодинамики, широко известных в мире и используемых на предприятиях авиационно-космической промышленности и в международных кооперационных проектах.

На основе существующего опыта дана оценка необходимых суперкомпьютерных ресурсов для решения актуальных аэрокосмических задач.

Также представлен опыт создания пакетов программ для использования на суперкомпьютерах с гибридной архитектурой, включающей в том числе графические процессорные устройства.

Б.Н. Четверушкин¹

**Высокопроизводительные алгоритмы и математическое обеспечение –
ключ к успеху развития суперкомпьютерных технологий**

Вычислительные алгоритмы и прикладное математическое обеспечение являются важнейшим фактором успешного использования систем сверхвысокой производительности. Распространено ошибочное мнение, что использование, например, в 100 раз более производительной системы, позволит решить задачу, требующую в 100 раз большего вычислительного ресурса. Однако резкое увеличение используемых вычислителей (процессоров, ядер) во многих случаях приводит к падению эффективности параллельной обработки, что делает бесполезным увеличение производительности суперкомпьютера.

Для успешного решения этой проблемы требуются логически простые и эффективные алгоритмы. К сожалению, эти два качества плохо сочетаются. Классическим примером здесь является использование явных и неявных схем для решения параболических уравнений, которые в свою очередь являются математической моделью для многих задач фундаментальной науки и промышленных технологий (рис. 1).

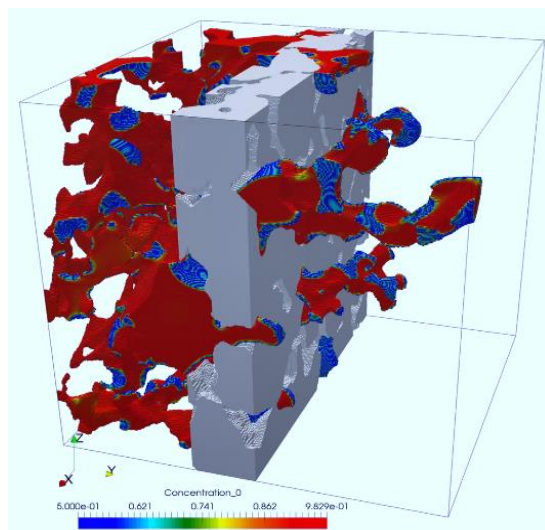


Рис. 1. Пример прямого численного моделирования структуры течения флюидов в микроканалах

Аналогичные проблемы существуют и для прикладного программного обеспечения – генераторов неструктурированных сеток высокой размерности,

¹ Научный руководитель ФИЦ «Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН», академик РАН

программ визуализации данных высокопроизводительных вычислений, рационального разбиения на подобласти и т.д.

Эта важная для развития суперкомпьютерных технологий проблема может быть решена только средствами фундаментальной науки. На ее решение брошены усилия ученых и специалистов развитых стран. О масштабе исследований можно судить по числу международных конференций и симпозиумов, посвященных данной тематике. Ученые России находятся на передовых позициях в этом направлении исследований. Это конкурентное преимущество нашей страны и его необходимо использовать.

В качестве мер, предлагаемых для развития этого направления, предлагается следующее.

1. Создать федеральную программу «Алгоритмы и прикладное математическое обеспечение для систем сверхвысокой производительности. Аналогичная программа президиума РАН, несмотря на недостаточное финансирование, показала свою эффективность.

2. Создать экспериментальный вычислительный центр производительностью порядка 10 Pflors для обработки новых методов в суперкомпьютерных технологиях и решения пилотных задач, имеющих важное научное и прикладное значение.

3. Активно использовать результаты программы и центра для создания новых учебных курсов с целью подготовки специалистов высшей квалификации в области суперкомпьютерных технологий. Организовать использование этих результатов в IT-компаниях, для создания отечественного продукта сверхвысокой производительности.

С.А. Тихоцкий¹, М.М. Хасанов²

Высокопроизводительные вычисления и анализ больших данных для повышения эффективности разведки и разработки месторождений полезных ископаемых

Наряду с развитием систем высокопроизводительных вычислений, одним из приоритетов Стратегии научно-технологического развития России является повышение эффективности добычи углеводородов. Актуальность данной задачи обусловлена, в частности, тем, что традиционные запасы нефти в России близки к исчерпанию. По разным оценкам, при текущем уровне добычи их хватит на 20-35 лет. Между тем, несмотря на развитие альтернативной энергетики, нефть определенно будет долго оставаться стратегическим сырьем, составляющим основу множества материалов и технологий, на которых строится современная экономика.

Для обеспечения внутренних потребностей и сохранения доли на мировом рынке углеводородов необходимо решить ряд сложных технологических и геолого-поисковых задач, что невозможно без широкого применения математического моделирования и высокопроизводительных вычислений (рис. 1).



Рис. 1. Ключевые вызовы, определяющие необходимость развития вычислительных технологий в нефтегазовом секторе

В частности, необходимо в кратчайшие сроки ввести в разработку трудноизвлекаемые запасы нефти: баженовские (Западная Сибирь), доманиковые (восток Европейской России), куонамские (Восточная Сибирь) отложения.

¹ Директор Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, член-корреспондент РАН

² Генеральный директор, ООО «Газпромнефть НТЦ», доктор технических наук

Также необходимо добиваться повышения коэффициента извлечения нефти на старых месторождениях, многие из которых к настоящему времени являются обводненными. Необходимо развивать технологии поисков и экономически эффективной добычи нефти на малых месторождениях, а также – из ранее не разрабатывавшихся интервалов в пределах традиционных регионов нефтедобычи, где существует развитая транспортная и перерабатывающая инфраструктура. Важным объектом являются нефтяные оторочки на газовых месторождениях.

Практически во всех перечисленных случаях стандартные методы разведки, нацеленные на поиск структурных признаков резервуаров, оказываются недостаточно эффективны. К примеру, отложения баженовской свиты – крупнейшего нетрадиционного резервуара в России – характеризуются переслаиванием относительно тонких пропластков глин и аргиллитов, наличием одновременно непереработанного органического вещества, керогена и нефти. Выделение обычными геофизическими методами в составе этих отложений участков, перспективных для разработки, затруднительно. Необходимо создание технологий, направленных на выделение и детальное изучение зон субсейсмической микротрещиноватости, латеральной неоднородности в тонких слоях, а также субвертикальных разломов и трещиноватых зон, которые во многих случаях контролируют положение насыщенных резервуаров. Создание таких методов требует, как новых разработок геолого-геофизической аппаратуры, так и – в первую очередь – создания специальных высокопроизводительных вычислительных технологий обработки больших массивов данных сейсмических и других геолого-геофизических методов поисков и разведки.

В частности, сюда относятся методы обработки современных широкоазимутальных и многокомпонентных сейсмических данных, включая миграцию и сейсмическую инверсию для анизотропных сред, а также – полноволновую сейсмическую инверсию. В основе этих технологий лежит многократный расчет сейсмического волнового поля в трехмерно-неоднородных анизотропных средах, а также нелинейная многопараметрическая оптимизация. Рассмотрим типичные параметры такого расчета для сейсмической съемки методом МОВ-ОГТ с глубиной 4 километра. Характерное число узлов в модели среды составляет 10^{12} - 10^{13} , число шагов по времени 10^5 - 10^6 . При моделировании сейсмического волнового поля в рамках вязкоупругой реологии число неизвестных на одну ячейку составляет 97, а число операций, которые необходимо провести для однократного расчета поля – не менее 10^3 на одну ячейку. Для проведения расчетов в модели с указанными параметрами, при одном положении источника колебаний, необходимо располагать 3 петабайтами оперативной памяти и выполнить 10^{21} операций с плавающей запятой (т. е. 1000 эксафлоп) (рис. 2).

При этом эффективность вычислений достигается за счет широкого применения параллельных вычислений, расчетов с использованием графических ускорителей и других современных технологий вычислительной

математики и прикладного программирования. Значительный научный задел в данной области создан в ряде ведущих научных центров и вузов России, в частности в ИНГГ СО РАН и ИВМиМГ СО РАН [5, 6], ИПМ РАН [7, 13], МФТИ [4].

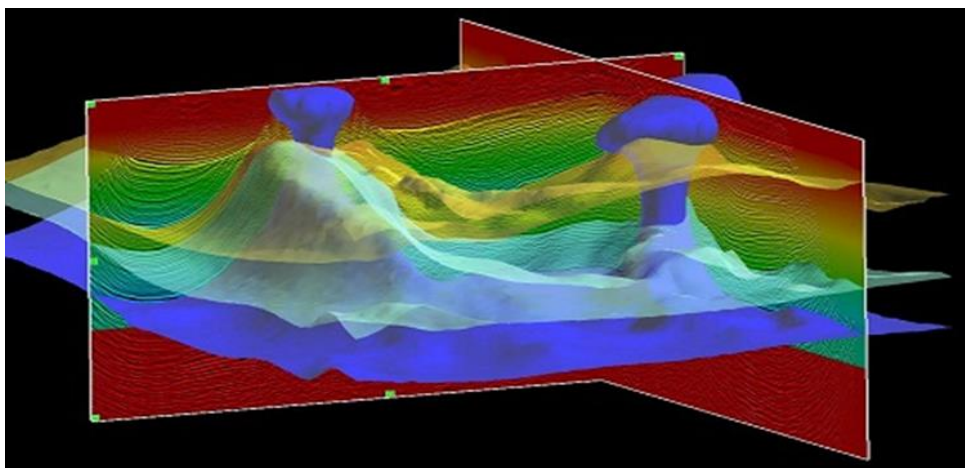


Рис. 2. Пример моделирования сейсмического волнового поля

Важное значение имеет также расчет эффективных физических свойств микронеоднородных порово-трещиноватых сред в различных масштабах, что необходимо для корректной оценки их фильтрационно-емкостных свойств по скважинным и полевым геофизическим данным. Здесь большую роль играют как методы расчета эффективных свойств микронеоднородных сред на основе различных приближений, так и создание цифровых моделей горных пород, и прямой расчет соответствующих эффективных свойств численными методами. Такие методы и высокопроизводительные алгоритмы разработаны, в частности, МГУ им. М.В. Ломоносова и ИФЗ РАН [1, 14]. Корректная оценка флюидонасыщения также требует развития методов моделирования и инверсии электромагнитного поля для таких сред. Значительные результаты по данному направлению получены в ИНГГ СО РАН [10]. Задачей-максимум является разработка алгоритмов комбинированной инверсии различных физических полей с детальностью, адекватной потребностям геологоразведочной отрасли. Все перечисленные задачи могут быть решены только с использованием высокопроизводительных вычислений на суперкомпьютерных платформах.

Поскольку оценка фильтрационно-емкостных свойств и иных параметров геологической среды по данным геофизических исследований является нелинейной и некорректной обратной задачей, для ее решения эффективно применение методов анализа больших данных и искусственного интеллекта [9]. В частности, активно развиваются методы сейсмической инверсии на основе нейронных сетей.

Необходимыми условиями эффективного освоения трудноизвлекаемых запасов являются наклонно-направленное бурение и применение специальных методов активного воздействия на пласт, таких, как многостадийный гидроразрыв пласта, методы парагазового или химического воздействия, внутрипластового горения. Вместе с тем, особенности строения плотных резервуаров на территории России не позволяют непосредственно применять здесь известные технологии, разработанные для традиционных месторождений или характерных для США сланцевых нефтей (таких, как формации Bakken и Barnett).

Адекватные методы и технологии также должны быть основаны на физико-математических моделях микронеоднородных пород-коллекторов, встречающихся на территории России, и учитывать напряженно-деформированное состояние среды. Большое значение для повышения извлекаемости нефти имеет правильная оценка фильтрационно-емкостных свойств пород и их изменения в процессе разработки месторождения, т. е. сопряженное геомеханическое и флюидодинамическое моделирование.

Решение этой задачи приводит к существенно нелинейным уравнениям и порождает сложные численные схемы, требующие применения специальных сеток и алгоритмических подходов [2]. Эффективные высокопроизводительные алгоритмы для решения задач геомеханики получены учеными мехмата МГУ, которыми создана отечественная система конечно-элементного моделирования «Фидесис», во многих отношениях опережающая мировые аналоги [8].

В области гидродинамического моделирования мировое признание получила система «Navigator», также разработанная учеными МГУ. Развитие соответствующих методов сопряженного моделирования на основе использования этих отечественных программных продуктов выполняется, в частности в ИФЗ РАН и МГУ [11, 12] (рис. 3). Сложность соответствующих задач диктует необходимость использования при их решении суперкомпьютеров и высокопроизводительных вычислений.

Конечным результатом моделирования должна являться постоянно действующая цифровая модель месторождения, включающая информацию о состоянии резервуара, его напряженно-деформированном состоянии, течении флюида. Такая модель должна обновляться и уточняться в реальном времени, с учетом вновь поступающих данных разведки, бурения и мониторинга. На основе анализа результатов моделирования, также в реальном времени и с использованием методов искусственного интеллекта, должны вырабатываться решения об оптимизации параметров разработки и бурения конкретных скважин, применении методов повышения нефтеотдачи. Перечисленные функции входят в понятие «умного месторождения». Целесообразна разработка типовой суперкомпьютерной платформы (включая аппаратное и программное обеспечение), которая могла бы затем масштабироваться и применяться на всех месторождениях углеводородов как стандартное средство для функционирования описанной цифровой модели.

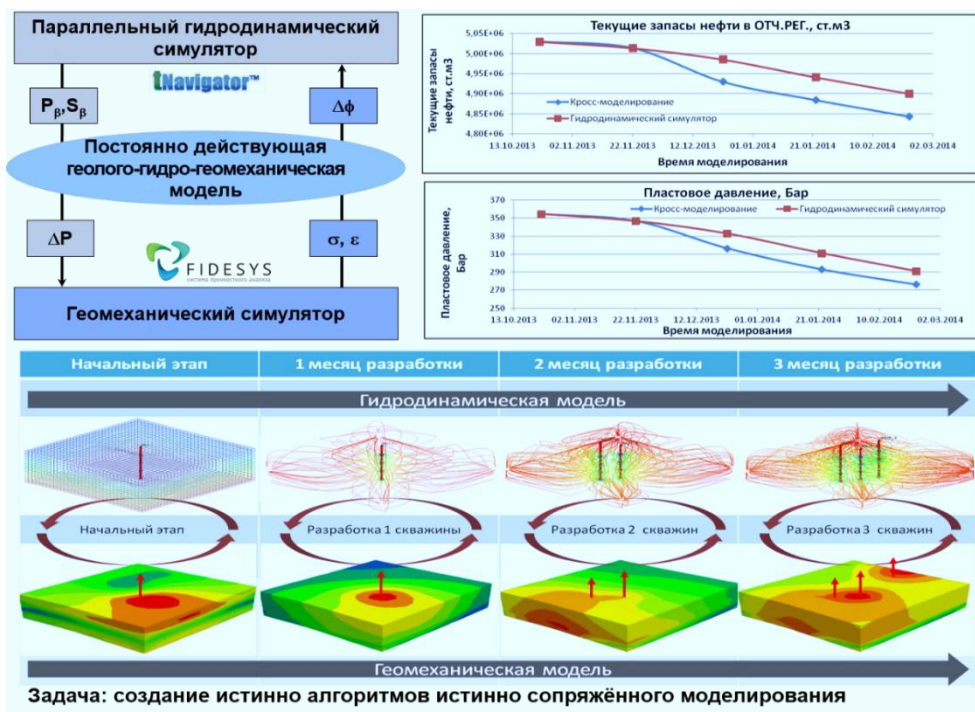


Рис. 3. Комплексное 4D геомеханическое и гидродинамическое моделирование

Весьма интересен опыт разработки в ПАО «Газпром-нефть» системы ЭРА (Электронная разработка активов), которая строится на широком использовании систем искусственного интеллекта, анализе больших данных и охватывает все основные направления деятельности: геологоразведку, геологию, бурение, разработку, добычу, обустройство месторождений.

Необходимо также отметить, что значительные результаты в области создания отечественного программно-аппаратного комплекса для решения задач нефтегазовой отрасли были получены в ходе реализации программы Союзного государства России и Белоруссии «СКИФ-НЕДРА». В ее рамках разработаны и физически реализованы три типа супер-ЭВМ: «СКИФ-ГЕО-ЦОД», «СКИФ-ГЕО-Офис» и «СКИФ-ГЕО-поле», предназначенные для установки, соответственно в центрах обработки данных крупных нефтяных и сервисных компаний, офисах и временных помещениях полевых партий. Разработанное программное обеспечение для обработки сейсмических данных и для гидродинамического моделирования специально адаптировано для архитектуры этих ЭВМ. В ходе выполнения программы были использованы фундаментальные разработки ученых различных научных организаций и вузов России, накоплен значительный опыт по их доведению до уровня коммерческих программных продуктов, пригодных для практического применения в нуждах отрасли.

Выводы

Задачи разведки и разработки месторождений углеводородов (как и других полезных ископаемых) требуют использования высокопроизводительных вычислений и разработки алгоритмов с использованием наиболее современных технологий. В институтах, находящихся под научно-методическим руководством Российской академии наук, и ведущих вузах имеются разработки по данному направлению, опережающие мировой уровень. Опыт сотрудничества нефтяных и сервисных компаний с научными организациями и вузами показывает, что для коммерциализации и внедрения этих разработок необходимо формирование консорциумов с участием заинтересованных участников. Такой консорциум, в частности, может быть сформирован в форме Научно-образовательного центра, как предусматривает национальный проект «Наука». Для координации работ целесообразно создать Научный совет по данному направлению при Президиуме РАН.

Литература

1. Алхименков Ю.А., Баюк И.О., Тихоцкий С.А. Влияние пространственного взаимодействия включений на эффективный тензор упругости порово-трещиноватых сред // Чебышевский сборник. 2017. Т. 18. № 3. С. 44-54.
2. Богачев К.Ю., Писковский Е.В., Пяцкий Г.Г. Об одном методе совместного решения задачи фильтрации и системы уравнений теории упругости // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2017. Т. 18. № 3. С. 221-226.
3. Донской С. Есть ли жизнь без нефти. Интервью «Российской газете» от 16.03.2016 г. <https://rg.ru/2016/03/16/glava-minprirody-rasskazal-kogda-v-rossii-zakonchitsia-neft.html>.
4. Бирюков В.А., Миряха В.А., Петров И.Б., Хохлов Н.И. Моделирование распространения упругих волн в геологической среде: сравнение результатов трех численных методов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2016. Т. 56. № 6. С. 1104-1114.
5. Гадьлышин К.Г., Чеверда В.А. Реконструкция глубинной макроскоростной модели путем обращения полного волнового поля // Доклады Академии наук. 2017, т. 476(6). С. 693-697.
6. Костин В.И., Лисица В.В., Решетова Г.В., Чеверда В.А. Конечно-разностный метод численного моделирования распространения сейсмических волн в трехмерно-неоднородных разномасштабных средах // Выч. мет. Программирование. 2011. Т. 12. № 3. С. 321-329.
7. Левченко В.Д., Перепелкина А.Ю., Иванов А.В., Закиров А.В., Левченко Т.В., Рок В.Е. Высокопроизводительное динамическое 3D моделирование полноволнового сейсмического поля в задачах сейсморазведки. Опыт применения в условиях различных сейсмо-геологических регионов. // В сб.: Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли. Математические методы, программное и аппаратное обеспечение /Материалы научно-практической конференции. 2017. С. 49-53.
8. Морозов Е.М., Левин В.А., Вершинин А.В. Прочностной анализ. Фидесис в руках инженера. - М.: ЛЕНАНД, 2015. 408 с.
9. Хасанов М.М., Прокофьев Д.О., Урмаев О.С., Белозеров Б.В., Гильманов Р.Р., Маргарит А.С. Перспективные технологии Big Data в нефтяном инжиниринге: опыт компании «Газпром Нефть». Нефтяное хозяйство. 2016. № 12. С. 76-79.

10. Эпов М.И., Шурина Э.П., Кутищева А.Ю. Определение эффективного коэффициента электрического сопротивления материалов с микровключениями гетерогенным многомасштабным методом конечных элементов // Физическая мезомеханика. 2016. Т. 19. № 3. С. 93-102.

11. Garagash I. A., Dubovskaya A. V., Korneva, D.A., Ghasemi M. F. Coupled Geomechanical and Fluid Flow Simulation of the Oil Field Evolution Induced by Reservoir Production. // SPE Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical Conference and Exhibition, 14-16 October, Moscow, Russia 2014. doi:10.2118/171215-MS.

12. Kopunov S.E., Tikhotskiy S.A., Bayuk I.O. Building seismically guided integrated hydrodynamic and geomechanic model based on the effective model of the medium. // Paper presented at the Tyumen 2017: 5th Scientific Conference.

13. Levchenko V., Perepelkina A., Zakirov A. Diamond. Torre Algorithm for High-Performance Wave Modeling. // Computation. 2016. V. 4. Pp. 29-44.

14. Levin V.A., Vdovichenko I.I., Vershinin A.V., Yakovlev M.Ya., Zingerman K.M. An approach to the computation of effective strength characteristics of porous materials. // Letters on materials. V. 7. No. 4. 2017. 3p. 452-454. DOI: 10.22226/2410-3535-2017-4-452-454.

А.В. Дуб¹

Роль суперкомпьютерных вычислений в развитии новых производственных технологий

Специфика атомной энергетики, о которой говорилось уже, с одной стороны, определяет очень длительные сроки испытаний. С другой, к сожалению, невозможно прогнозировать поведение конструкции на каждом следующем этапе ее жизненного цикла. То есть сразу необходимо гарантировать определенный ресурс и только в рамках этого можно себе позволять что-либо делать.

Вместе с тем с учетом того, что атомная энергетика и «Росатом» сейчас имеют большую часть заказов на зарубежном рынке, нельзя категорически обходить вопросы тех новых стандартов, тех новых расчетных подходов, которые теперь появляются.

Поэтому нужно учитывать две вещи. Во-первых, появление цифрового производства и цифровых двойников фактически везде и, соответственно, объективизация всех производственных процессов. Во-вторых, это использование расчетов вместо краштестов и, собственно, тот императив, который был в свое время объявлен президентом Соединенных Штатов Обамой, – это сокращение в два раза скорости использования новых материалов в новых производственных системах и процессах. Это нельзя не учитывать, потому что появляются новые нормативные документы, и быть лидером по производству продуктов и при этом не быть лидером в нормативных документах, на основе которых оценивается их безопасность и потребительские качества, можно только для внутреннего рынка.

И еще очень важная вещь – происходит трансформация понятия «свойства материала» в «свойства изделия». С этим сталкиваются все производители и в авиации, и в судостроении, и мы тоже с этим сталкиваемся.

Современные традиционные технологии позволяют устранять грубые несоответствия. Для того, чтобы четко закладывать новые материалы в структуру производства, необходимо учитывать весь масштаб структуры, начиная от микромасштаба. Необходимо обязательно учитывать роль локальных взаимодействий. Соответственно, количество таких расчетов и точек в каждом материале кратно возрастает. И, соответственно, появляются новые технологические и материаловедческие принципы, многие из которых основаны на принципах цифровизации (рис. 1).

Это свидетельствует о том, что подходы к материалам, которые в нашем случае служат более 60 лет, должны определяться, в том числе, поведением, начиная от классических фазовых равновесий первого порядка. И необходимо учитывать фактически, как в традиционной игре Тетрис, удобные и неудобные так называемые примеси, часть из которых традиционно считается просто не учитываемой при построении таких структур. В частности, приведен ряд,

¹Первый заместитель генерального директора АО «Наука и инновации» Госкорпорации «Росатом», доктор технических наук

начиная от фосфора и кончая марганцем, по их влиянию и поведению в создании первичной кристаллической структуры на основе железа.



Рис. 1. Трансформация подходов в развитии материалов

Рис. 2 показывает, что на самом деле предкристаллизационное состояние обязательно включает в себя относительно стабильные энергетические образования, воздействие на которых либо лазерным излучением, но именно излучением, за счет частиц или излучения нейтронов, может позволить управлять структурой вещества.

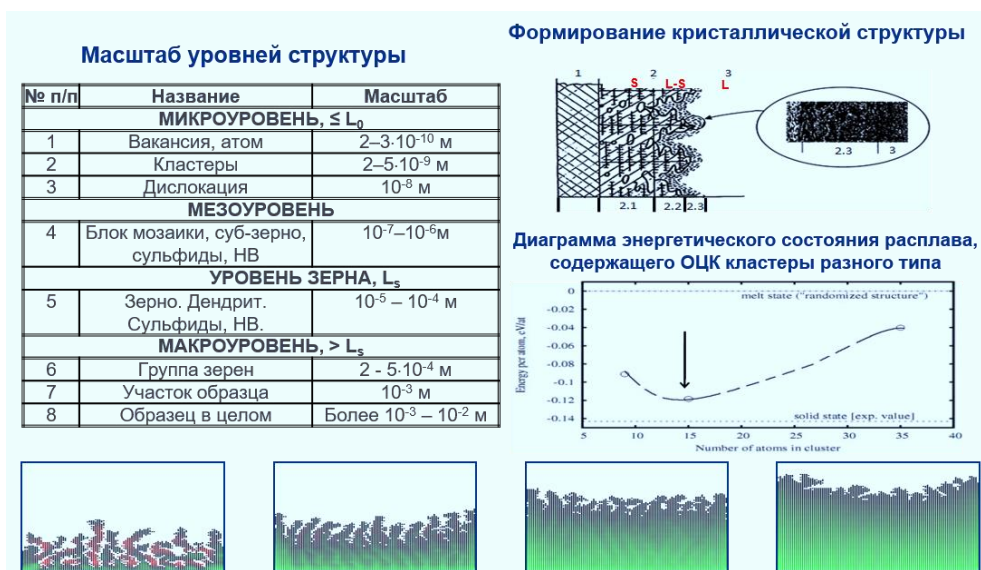


Рис. 2. Формирование свойств материалов – многоуровневый подход: микро-нано, фазовые переходы

И новые технологии, часть из которых – это наплавочные технологии, аддитивные технологии, которые являются достаточно скоротечными и реализуются в относительно небольших объемах, как раз и являются очень эффективными с точки зрения тех воздействий. Металлурги и материаловеды традиционно всегда пытались включить их в свою сферу воздействий.

Соответственно, управляя структурой размером кластеров, можно на них воздействовать и даже возможно путем сложных расчетов посчитать энергию этого взаимодействия за счет резонанса.

Следующий уровень – это уже мезоуровень, это исследование на уровне традиционных включений. Это классический пример для тепловой энергетики, когда за счет управления величиной управляющей фазы удается увеличить температуру эксплуатации материала с 610 градусов до 650. Для, так называемой суперсверхкритики, это очень важно. Соответственно, размер упрочняющей фазы существенным образом изменился.

Полученные зависимости: с одной стороны, это расчет, но с другой стороны, уже эксперимент: меняя размер упрочняющей фазы с 40 до 25 нанометров, мы повышаем температуру и, соответственно, стократно увеличиваем срок эксплуатации при классических температурах. Это важно.

Теперь следующий момент – это то, что позволяет получать радиационное воздействие. Например, никогда в аустенитных материалах образование G-фазы не прогнозировалось при термическом воздействии, а при радиационном воздействии оно проявилось. И здесь уже включения имеют размер примерно 15 нанометров, но распределены они фактически равномерно по всему объему материалов, и это позволяет совершенно по-другому управлять свойствами.

Учитывая, что методология создания материалов позволяет прогнозировать эволюцию, мы серьезно подошли к использованию аддитивных технологий (рис. 3).



Рис. 3. Прогресс использования новых производственных/аддитивных технологий

Аддитивные технологии позволяют увеличить уровень крупноузловой сборки в 10 в среднесрочной перспективе и в 30 раз к 2035 году, соответственно снизить затраты на производство соответствующих деталей на 90 и 98%. Это означает, что такие технологии, которые приводят к подобным цифрам, очень жесткие и соответственно цифровые.

Совершенно понятно, что без цифрового двойника здесь не обойтись. И мы на базе «Логоса», привлекая Курчатовский институт, привлекая институты Академии наук, создаем такую вычислительную платформу, которая позволит нам оптимизировать структуры и получать изделия, отвечающие тем же самым эксплуатационным качествам, но имеющие объем до 10 раз меньший, и соответственно проводить в течение трех месяцев полный цикл испытаний. В конечном счете вся цифровизация, где есть суперкомпьютерные вычисления, должны нам позволить к 2024 году получать фактически цифровую сертификацию, которая здесь показана как полноценный элемент цифрового двойника (рис. 4).

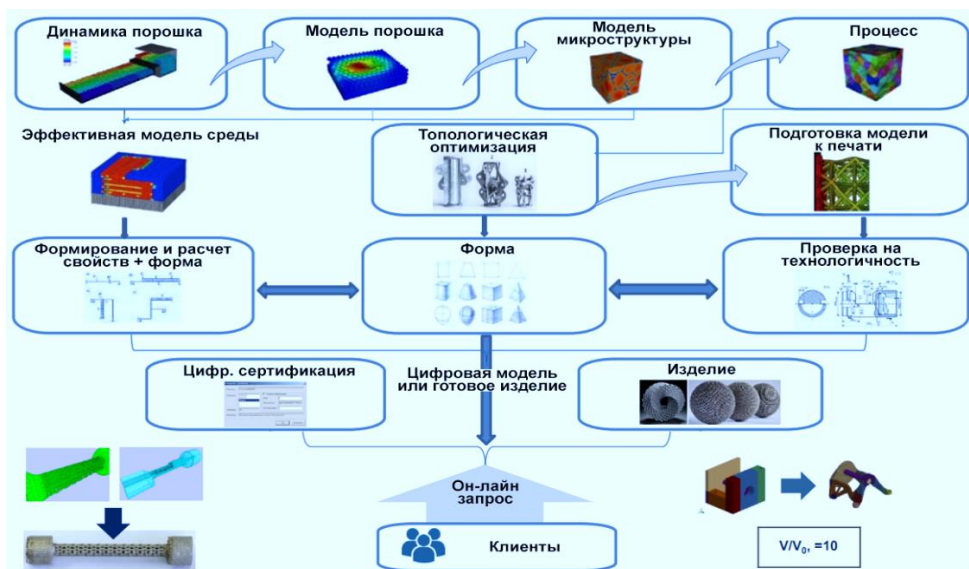


Рис. 4. Цифровой двойник – виртуальный 3D-принтер

При этом мы прекрасно понимаем, что без онлайн-передачи информации о фактическом состоянии этих материалов непрерывно улучшать эту структуру будет невозможно, поэтому все новые материалы, которые мы предполагаем использовать в атомной энергетике и в энергетике, естественно, должны быть включены в систему больших баз данных. Без этого новые нормативы будут неэффективными. Соответственно, наши конструкторы уже разработали такую перспективную нормативную базу данных, которая позволит по предсказанным вычислениям, по предсказанным данным проводить конструкторские расчеты и соответственно использовать их в конструкторских решениях.

Термин «искусственный интеллект» (ИИ) в последнее время у всех на слуху, произносят его все. Объявляют, что занимаются технологиями и методами искусственного интеллекта многие. Что же происходит на самом деле?

Безусловно, под этим есть серьезная объективная подоплека. Драйвером экономического роста и научно-технического прогресса на протяжении последних 350 лет, по моему мнению, было такое явление, как метод дифференциального исчисления (рис. 1). В 1677 году Ньютон, основоположник дифференциального исчисления, написал письмо Лейбницу, своему коллеге по цеху, в котором зашифровал некое послание, которое на протяжении последующих веков переводилось по-разному, но смысл его один: наш мир описывается дифференциальными уравнениями. И это правда.

1. Дифференциальные исчисления Ньютон → Лейбниц (1677)

- 2-ой закон Ньютона (механика)
- Цикл Карно (двигатели)
- Уравнения Навье-Стокса (процессы)
- Уравнение Шрёдингера (квантовая механика, ядерная физика)

2. Компьютеры (1950 → ...)

- Численные методы решения дифференциальных уравнений
- Методы Монте-Карло

3. Большие данные (2010 → ...)

- Сеть датчиков (смартфоны)
- Экспериментальные установки (ускорители заряженных частиц)
- Наблюдательные установки (телескопы)

4. Методы ИИ (2015 → ...)

- Извлечение знаний
- Автономизация технических устройств

Рис. 1. Драйверы научно-технического развития

Различные примеры. Второй закон Ньютона. Механика. Цикл Карно. Двигателестроение. Уравнения Навье-Стокса. Мы сегодня несколько раз слышали этот термин. Газогидродинамические процессы. Уравнение Шредингера. Квантовая механика. Ядерная физика.

Эффективное моделирование процессов и объектов методами дифференциального уравнения, их решение действительно позволило человечеству продвинуться на пути научно-технологического прогресса.

Следующий значимый этап – середина прошлого века, 40-50-е годы, когда появились электронно-вычислительные машины, и оказалось, что совсем не обязательно заботиться о точном аналитическом решении дифференциальных

¹ Директор ФИЦ «Информатика и управление» РАН, академик РАН

уравнений. Электронно-вычислительная машина – простейшее устройство, сдвигающее и умножающее нули и единицы, позволяет за разумное время получить приемлемое решение практически любого дифференциального уравнения, разделить методы численного решения. О них мы слышали в серии предыдущих докладов. Схема Самарского, метод Монте-Карло, о нем мы тоже слышали от предыдущих докладчиков – прямое статистическое моделирование.

И наступил золотой век. Практически любые сложные задачи, о которых мы только что слышали, могут быть решены. Это и гиперзвук, и другие проблемы – обтекание и материалы, которые очень успешно стали развиваться на базе использования численных методов решения дифференциальных уравнений.

Но в последнее десятилетие появились некоторые факторы, которые заставили более внимательно присмотреться к тому, что происходит.

Есть понимание, что экономика позволила в первую очередь ученым создавать инструменты наблюдения экспериментов. Наблюдение – типичный пример – обзорный телескоп в квадратной миле Южной Африки. Типичный пример экспериментальных установок – ускорители элементарных частиц, в том числе огромный коллайдер.

Мы получили огромные массивы данных. Другие источники данных – наши с вами смартфоны, вообще любые сенсоры видеонаблюдения, аудионаблюдения и т.д., и т.п.

Сложилась ситуация, когда огромные массивы данных требуют особых методов извлечения информации из них или извлечения знаний. Мы всё чаще и чаще стали сталкиваться с объектами, описание которых, моделирование которых в принципе невозможно методами дифференциального вычисления. Типичный простейший пример – письменная речь или текст на естественном человеческом языке. Очевидно, что там содержится много информации, много знаний, но смоделировать дифференциальным традиционным методом это невозможно.

Другой пример – работа нашего с вами мозга, или социальные процессы, которые мы видим. Те, которые мы щупаем, данные о которых мы имеем, но описать традиционными методами их не можем. И вот тогда-то стала зарождаться специальная отрасль математики, отдельная отрасль, которая получила название «искусственный интеллект», на мой взгляд, не очень удачное. Но это так есть, о терминах не надо спорить. Это некая самостоятельная междисциплинарная синтетическая отрасль знания, которая направлена на выработку методов и инструментов решения задач, которые в принципе не имеют алгоритмического решения. Скажем так, это не новость для математиков. Еще Абель доказал, что, начиная с пятой степени уравнение не имеет алгоритма решения, но сейчас речь идет о более общих проблемах. Сейчас данная проблематика активно развивается в мире. Публикационная активность за последнее десятилетие растет заметными темпами и сформировалось представление о том, что же является методами искусственного интеллекта.

Прошу обратить внимание на методы представления знаний, методы приобретения знаний компьютерными системами, методы моделированной автоматизации рассуждений, оценки человеческого интеллекта, методы автоматизации планирования и целенаправленного поведения, методы управления. И отдельно я бы выделил методы автоматизации анализа речи, письменной и устной. Это действительно серьезнейший вопрос, ему посвящено много исследований.

На рис. 2 показаны методы представления знаний трех типов. Конечно, не только это. Я не буду останавливаться на математической подоплеке этих методов. Основную роль, конечно, имеет метод, названный здесь «Система правил».

Среди формальных языков и систем выделяют:

• **системы правил:**

общий вид - $r = \langle Con, Add, Del \rangle$, где *Con* - условие правила, *Add* - множество добавляемых фактов, *Del* множество удаляемых правилом фактов (элементами этих трёх множеств могут являться как логические, так и лингвистические конструкции, переменные и константы).

• **семантические сети:**

неоднородная семантическая сеть $H = \langle D, N, R, F \rangle$, где *D* – семейство множеств, *N* – подмножество слов конечной длины над некоторым алфавитом, *R* – семейство отношений на N^2 , *F* – семейство типизированных функций на *D*.

• **системы фреймов.**

Рис. 2. Методы представления знаний

Он восходит к системам постановок Поста и нормальным алгоритмам Маркова. На этом пути удастся получить очень серьезные практические результаты, связанные с планированием поведения робототехнических устройств, автономной транспортировки грузов из точки «а» в точку «б» и т.д.

Заметим, что для применения или расширения задач этим методом совершенно не требуется алгоритм решения задач. Достаточно иметь стратегию применения этих правил.

Семантические сети и системы фреймов – это тоже передовые развивающиеся методы приобретения знаний, которые позволяют анализировать языки. В одном из последующих докладов проф. Осипов скажет об этом более подробно.

Другой метод ИИ – метод приобретения знаний, извлечения знаний, извлечения информации из данных (рис. 3). К таким методам относятся: прямые (опросные) методы, методы извлечения знаний из текстов, методы извлечения знаний из данных, который по-другому называется «метод машинного обучения».

На практике такие методы позволяют решать задачи, которые нельзя решить традиционными методами, в том числе с использованием ЭВМ любой производительности. Конкретный, может быть, не самый яркий пример, но достаточно показательный – процесс выплавки ферросплавов на Магнитогорском металлургическом комбинате. Применение суперкомпьютеров, детального описания методами дифференциальных

уравнений и решений их численными методами позволили оптимизировать и существенно повысить эффективность этого процесса.

Метод автоматизации рассуждений. Всем нам хорошо известен метод дедуктивных рассуждений. Сегодня появляются методы рассуждения, основанные на индуктивных логиках, на логиках, построенных на аналогиях, абдукциях; рассуждения на основе прецедентов. Все это удается формализовать. Действительно, в свои руки мы получаем инструмент, который позволяет без фактического знания алгоритма решения задач выявлять такие вещи, как аффилиация, последовательность действий, их связь, их классификация, кластеризация и др.



Рис. 3. Методы представления знаний

Один из примеров применения подобного сорта методов – освоение дальнего космоса. Как только космический аппарат удаляется на такое расстояние от Земли, когда время поступления сигнала становится таким, что уже невозможно управлять космическим аппаратом в реальном времени, начинают работать методы искусственного интеллекта.

Маленькая вычислительная бортовая мощность не решает проблему управления на основе полученных знаний традиционными методами, а выбирает и компоует из заранее заданных комбинации методов поведения в той или иной ситуации. Оказывается, очень эффективно автономно реализовывать полетные задания, а иногда даже строить новые задания прямо на борту.

Метод автоматизации планирования поведения. Совершенно формализованная вещь: план, состоящий из последовательности состояний $S_0 \dots S_n$, последовательности правил и подстановок в каждый момент времени достижения на n -м шаге поставленной цели.

Одно из конкретных проявлений методов планирования – управление летательными беспилотными аппаратами, облет препятствий, которые заранее

не были известны, не были заданы, не были спроектированы (рис. 4). Ситуация та же самая: слабый бортовой вычислитель на основе заранее заложенных правил, позволяет строить оптимальные траектории дальних препятствий. Об этой проблематике тоже будет отдельное сообщение академика Желтова.



Рис. 4. Искусственный интеллект и планирование

Отдельно хотелось бы остановиться на методах автоматического анализа текста. По-видимому, это наиболее важная часть методов искусственного интеллекта, которая позволяет учитывать семантику текста. Достаточно развита вероятность распознавания текста, развиты методы анализа символьных структур, но очень редко учитывается лингвистическая особенность текста. Без учета этих особенностей правильные знания и информацию из подобного сорта структур получить трудно, а учет семантики позволяет это сделать. Об этом – в отдельных докладах.

Сегодня инициатива по развитию и применению методов искусственного интеллекта в мире повсеместна. На рис. 5 показаны некоторые страны, которые имеют самостоятельные программы развития и применения методов искусственного интеллекта. Слева приведены наиболее яркие и, может быть, наиболее финансово емкие. Речь идет о сотнях миллионах и миллиардах долларов и евро. Конечно же, это неслучайно.

Эффект от внедрения технологий искусственного интеллекта ожидается во всех отраслях экономики. Промышленное производство, транспортная система, банковский сектор, энергетика, здравоохранение, сельское хозяйство, оборона и безопасность, городская инфраструктура, образование, торговля и др. – в каждой из этих отраслей результаты, конечно, различны, но все они невозможны без методов интеллектуального анализа или обработки больших массивов данных.

Отдельно хотелось бы отметить образование. Во всем мире научные статьи по данному направлению, посвящены, в первую очередь, разработке и применению методов искусственного интеллекта в промышленности. В России это тоже так. Но в отличие от всего мира, где на втором месте стоит

применение методов искусственного интеллекта в здравоохранении, у нас второе место занимает использование методов искусственного интеллекта в образовании. Это о чем-то говорит, и, на мой взгляд, это хорошая вещь.

- **Франция, март 2018** – For a Meaningful Artificial Intelligence: Towards a French and European Strategy (National Research Institute for Computer Science and Automatism)
- **Германия, июль 2018** – Key Points of the Federal Government for a Strategy for Artificial Intelligence (стратегия к декабрю 2018 г.)
- **Великобритания, апрель 2016** – Policy paper on AI Sector Deal (Engineering and Physical Sciences Research Council)
- **Китай, июль 2017** – A Next Generation Artificial Intelligence Development Plan (China's State Council)
- **США, октябрь 2016** – The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan (National Science and Technology Council)

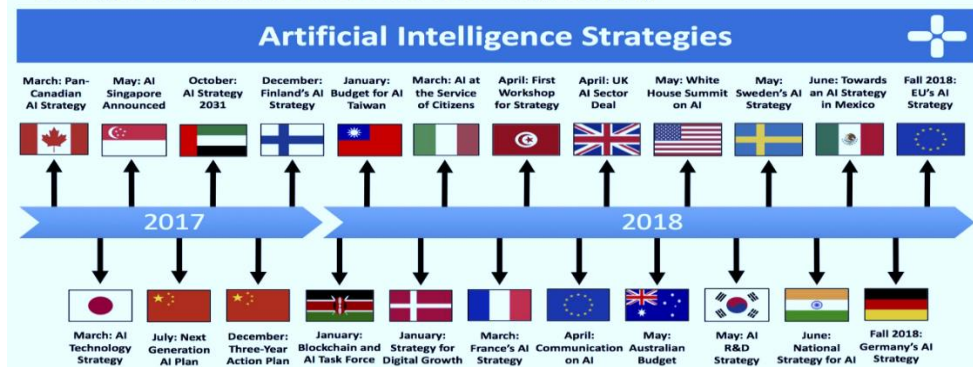


Рис. 5. Инициативы в мире

В России имеется хороший фундаментальный задел (рис. 6). Здесь перечислены только некоторые школы, которые и по сей день продолжают функционировать, которые развивают методы, относящиеся к методам искусственного интеллекта. Иногда основоположников этих школ уже нет с нами, иногда это активно действующие ученые. Но задел очень хороший.

Научные школы фундаментальных исследований:

- **Поспелов Д.А.** – ситуационное управление, экспертные системы, нечеткие системы, моделирование рассуждений
- **Васильев С.Н.** – логические методы в теории управления
- **Вапник Н.В.** – теория машинного обучения
- **Журавлев Ю.И.** – теория распознавания образов
- **Рудаков К.В.** – анализ данных
- **Осипов Г.С.** – интеллектуальные динамические системы, анализ естественного языка
- **Финн В.К.** – правдоподобный вывод, ДСМ-метод
- **Макаров В.Л.** – моделирование экономических процессов
- **Желтов С.Ю.** – обработка информации в сложных системах управления
- **Величковский Б.М.** – исследование сознания и внимания в психологии
- **Анохин К.В.** – исследование памяти в биологии
- **Золотова Г.А.** – модель коммутативной грамматики в лингвистике
- **Апресян Ю.Д.** – модель «Смысл → Текст»
- **Лекторский В.А.** – гуманитарные аспекты искусственного интеллекта

Рис. 6. Российский научный задел в области методов ИИ

Публикационная активность в России в области методов ИИ ярче, чем во всем мире. Может быть, это связано с некоторой временной задержкой, когда мы приступили к этим методам. Тем не менее, это так, хотя абсолютные величины количества статей не сопоставимы с мировыми, но активность наших ученых большая.

Имеется хороший российский задел в продуктах, не только в технологиях, но и в инструментах искусственного интеллекта. Большое количество коммерческих государственных структур ориентированы на повсеместное или, как минимум, активное внедрение указанных технологий и инструментов в собственную деятельность. Правда, нужно обратить внимание на слабую патентную активность, на что стоит обратить серьезное внимание. Казалось бы, она растет, но растет гораздо меньшими темпами по сравнению с ростом числа научных публикаций и патентной активностью всего мира.

В связи с этим хотелось бы предложить программу развития и внедрения методов искусственного интеллекта в России (рис. 7). Основы, концепция такой программы разработаны. Цели – создание передовых цифровых интеллектуальных технологий и их широкое внедрение в экономику России.

Развитие фундаментальных исследований в области искусственного интеллекта:

- Методы предобработки и интеллектуального анализа больших данных
- Формальные модели понимания естественного языка
- Модели коалиций интеллектуальных агентов и методы мультиагентного взаимодействия при решении групповых задач
- Методы машинного обучения и распознавания образов

Развитие базовых технологий искусственного интеллекта:

- Технологии извлечения знаний из различных источников
- Технологии распознавания образов
- Технологии прогнозирования и поддержки принятия решений
- Технологии машинного обучения
- Технологии планирования и управления целенаправленным поведением в неструктурированных средах
- Технологии когнитивного анализа данных
- Технологии мультиагентного управления и диспетчирования ресурсов в распределенных системах

Создание инструментов и аппаратно-программных средств искусственного интеллекта:

- Аппаратно-программные платформы (в том числе нейросетевые) для реализации методов и алгоритмов искусственного интеллекта
- Машины знаний и их операционные системы
- Репозитории данных для машинного обучения

Подготовка кадров в области искусственного интеллекта:

- Развитию кадрового потенциала, подготовка специалистов, обладающих научными компетенциями и практическими навыками в области ИИ
- Созданию университетских программ по искусственному интеллекту
- Включению специальности «Искусственный интеллект» в номенклатуру специальностей ВАК

Рис. 7. Мероприятия программы развития ИИ в России

Подготовка кадров – важнейшая часть этой программы. Во-первых, нужны кадры, обладающие научными компетенциями. Во-вторых, нужны кадры, обладающие практическими навыками.

Не останавливаясь подробно на этой программе, хотел бы сказать, что коллектив научных, образовательных, коммерческих организаций, которые могли бы выполнить эту программу при координирующей роли Российской академии наук, у нас в стране имеется.

Введение

Возможности человека по удовлетворению требований к перспективным воздушным судам (ВС) как пилотируемой, так и беспилотной авиации на сегодняшний день практически исчерпаны. Все большее количество выполняемых функций пилота необходимо передавать машине. Происходит интеллектуализация комплекса бортового оборудования (КБО) за счет поэтапного внедрения программно-аппаратных компонентов решения задач обеспечения полета ВС, традиционно относившихся к деятельности человека-оператора [1-4].

Интеллектуализация ВС пилотируемой и беспилотной авиации стала возможной благодаря существенному прогрессу в области информационных технологий. Ключевой предпосылкой в данном случае стал переход от федеративной архитектуры КБО, в которой каждая отдельная функция ВС была реализована на своем отдельном блоке, к архитектуре, построенной на принципах интегрированной модульной авионики (ИМА) и далее распределенной модульной электроники (РМЭ). В концепциях ИМА (РМЭ) аппаратные функции оборудования трансформируются в программное обеспечение (ПО), а структура КБО определяется структурой бортовой вычислительной сети.



Рис. 1. Динамика изменения характеристик авионики

Как показано на рис. 1, переход к ИМА (РМЭ) был обусловлен, прежде всего, существенным увеличением сложности бортовых систем, требующих

¹ Генеральный директор ФГУП «ГосНИИ авиационных систем», академик РАН

высокой производительности (например, система самолетовождения одного из перспективных ВС – это программа, состоящая из 850 тысяч строк), а также существенным перераспределением стоимости разработки ПО и аппаратуры (в настоящее время стоимость разработки ПО может находиться на уровне до 60% от стоимости всего КБО) [6, 7].

Переход к ИМА (РМЭ) и внедрение ПО на всех уровнях управления ВС позволили перейти к фазе активной интеллектуализации авионики ВС пилотируемой и беспилотной авиации, в качестве основных направлений которой выделим следующие:

- интеллектуальный человеко-машинный интерфейс;
- интеллектуальная ситуационная осведомленность;
- интеллектуальная самодиагностика;
- интеллектуальное управление.

Интеллектуальный человеко-машинный интерфейс

Интеллектуализация бортового оборудования ВС неразрывно связана с расширением его функциональности. Это, с одной стороны, увеличивает объем информации, поступающей к пилоту, упрощает пилотирование и способствует повышению уровня безопасности полетов, а, с другой стороны, существенно увеличивает нагрузку на экипаж. Для снижения нагрузки на экипаж перспективного ВС необходимо, прежде всего, совершенствовать системы поддержки экипажа, включая совершенствование способов индикации и управления информационным полем, осуществлять рациональное распределение функций между экипажем и бортовыми системами, совершенствовать компоновку кабины экипажа.

Тенденции развития человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) можно проследить по облику кабин ВС разных поколений (рис. 2), а также по изменению его ключевых характеристик, приведенных в табл. 1 [8, 9].



Рис. 2. Кабины воздушных судов разных поколений

Таблица 1

Характеристики человеко-машинного интерфейса

Характеристика	2018 год	2025 год	2030 год
Индикаторы	Составные широкоформатные индикаторы	Бесшовные гибкие индикаторы с высоким разрешением	Единое информационно-управляющее поле
Управление	Кнопочное, механические трекболы, сенсорное	Сенсорное, голосовое, глазодвигательное, жестикулярное	Сенсорное, голосовое, глазодвигательное, нейроинтерфейсное, мысленное
Функциональность	Расширенная с учетом психофизиологического состояния экипажа	С элементами искусственного интеллекта	Искусственный интеллект
Формат экрана	Средний	Крупный	Произвольный
Изображение	Цветное 2D с низкой глубиной	Цветное 2D с высокой глубиной	Цветное 3D
Матрица	Жидкокристаллическая со светодиодной задней подсветкой	Жидкокристаллическая с адаптивной светодиодной задней подсветкой	Светодиодная гексагональная
Дополнительные устройства индикации	Улучшенные индикаторы на лобовом стекле, электронный планшет летчика	Нашлемные индикаторы, очки дополненной реальности	Средства дополненной, виртуальной и смешанной реальностей

В настоящее время системы сигнализации, индикации и управления становятся частью интегрированной распределенной информационной системы ВС, при этом появляется возможность осуществлять оперативную реконфигурацию многоэкранной системы индикации и перераспределение функций индикации в целях обеспечения непрерывного отображения необходимой информации экипажу.

Основной тенденцией является переход от широкоформатных к бесшовным гибким индикаторам с высоким разрешением с целью создания единого адаптивного информационно-управляющего поля кабины экипажа. Жидкокристаллические индикаторы со светодиодной задней подсветкой заменят светодиодные экраны с гексагональными матрицами и повышенным разрешением. На смену плоским двумерным (2D) изображениям придут объемные (3D), построенные с использованием дисплеев светового поля, стереоскопических, голографических и объемных технологий визуализации. В качестве дополнительных устройств индикации, помимо индикаторов на лобовом стекле (ИЛС), будут использоваться электронные планшеты летчиков

(ЭПЛ), нашлемные индикаторы, очки дополненной и виртуальной реальности. Восприятие разнородной информации будет осуществляться с использованием слуховых, зрительных и осязательных рецепторов, с учетом психофизиологического состояния экипажа.

При управлении информационным полем все большее значение приобретают подходы, позволяющие адаптироваться к потребностям пилота, его психофизиологическому состоянию, особенностям выполняемой задачи. От традиционных механических органов управления осуществляется переход к альтернативным технологиям ввода информации: сенсорным, голосовым, с использованием анализа глазодвигательной активности и распознавания жестов пилотов, односторонних и двусторонних нейроинтерфейсов, а в перспективе – путем считывания мыслей. В ближайшей перспективе будут созданы новые ЧМИ, обладающие возможностями обучения и самообучения.

Расширяется область применения дистанционных способов управления ВС и альтернативных способов индикации, в том числе с использованием технологий (AR – augmented reality), виртуальной (VR – virtual reality) и смешанной (MR – mixed reality) реальностей. Системы дополненной реальности могут использоваться как автономно, например, с использованием ИЛС, так и совместно с системами виртуальной и смешанной реальностей в качестве дополнительных информационных систем и элементов интерфейса с использованием очков и шлемов. Широкое развитие получают системы, основанные на принципе передачи изображения по световодным и волноводным каналам.

Основная задача систем виртуальной, дополненной и смешанной реальностей это формирование естественного изображения виртуального мира на сетчатке глаза.

Интеллектуальная ситуационная осведомленность

Эффективность применения и перспективы развития авиационных систем определяются возможностью выполнения безопасных полетов днем и ночью, в сложных и быстро изменяющихся метеорологических условиях, в условиях недостаточной видимости. Согласно исследованиям Всемирного фонда безопасности, почти 75% аварий самолетов при заходе на посадку и посадке происходят в аэропортах, где недоступны или отсутствуют приборы точного захода на посадку, в условиях плохой видимости [10]. Для повышения уровня ситуационной осведомленности используются системы машинного видения и интеллектуальные системы поддержки экипажа.

Системы машинного видения

Создание нового поколения вычислительной техники привело к тому, что на повестку дня стал вопрос об автоматизации ряда традиционных функций пилота по обработке информации, ранее считавшихся принципиально недоступными для автоматических систем. Прежде всего, речь здесь идет о создании автоматических и автоматизированных систем непрерывного визуального представления внешнего пространства. Поэтому с ростом производительности бортовых вычислителей, обрабатывающих визуальную

информацию (в том числе и трехмерную графику), одним из актуальных и динамично развивающихся направлений совершенствования бортовой авионики стало создание систем улучшенного, синтезированного и комбинированного видения [11, 12].

Система улучшенного видения (EVS – Enhanced Vision System) формирует и выводит на систему индикации визуально улучшенное изображение закабинного пространства по информации от датчиков технического зрения.

EVS предназначена для решения следующих задач:

- комплексирование многоспектральной видеоинформации;
- получение информации от бортовых систем о текущих географических координатах, высоте и пространственной ориентации ВС;
- привязка оперативной видеоинформации к априорной информации о закабинной обстановке с учетом имеющихся навигационных данных;
- совмещение улучшенного изображения и информации, представленной в виде текста и векторных графических образов полета;
- обнаружение объектов и изменений в сцене наблюдения;
- слежение за объектами;
- описание сцены и высокоточные измерения ее элементов;
- самоориентация и самопозиционирование ВС.

В составе EVS выделяются две основные подсистемы: система технического зрения (СТЗ), выполняющая операции ввода и обработки видеоинформации, и система компьютерной визуализации, непосредственно формирующая и представляющая пилоту графические образы закабинной обстановки. В качестве источников информации в таких системах могут использоваться телевизионные видеодатчики, инфракрасные (ИК) датчики различных диапазонов, миллиметровые радары, лазерные локаторы, базы данных рельефа местности вдоль маршрутов полета, базы данных аэропортов и объектов взлетно-посадочной полосы (ВПП), навигационные параметры и ряд других.

Система синтезированного видения (SVS – Synthetic Vision Systems) формирует и выводит на индикацию изображение виртуальной модели местности (ВММ), наблюдаемой из кабины экипажа, по навигационным и пилотажным параметрам ВС, цифровой карте местности и бортовой базе данных. SVS предназначена для решения следующих задач:

- получение информации от бортовых систем о текущих географических координатах, высоте и пространственной ориентации ВС;
- извлечение из бортовой базы данных информации о рельефе местности и препятствиях, соответствующих навигационному положению ВС и представляющих потенциальную опасность на текущей фазе полета, объектах аэродромной инфраструктуры;
- синтез изображения топографического участка на основе комплексирования навигационной информации и информации из баз данных рельефа местности, препятствий и объектов аэродромной инфраструктуры;
- формирование векторных графических образов полета;

– формирование символики для представления потенциально опасных ситуаций: столкновение с землей (при работе совместно с системой предупреждения столкновения с поверхностью земли), столкновение с препятствиями, являющимися объектами аэродромной инфраструктуры, выкатывание за границы ВПП и т.д.

Примеры реализации функций улучшенного и синтезированного видения на ИЛС приведены на рис. 3.

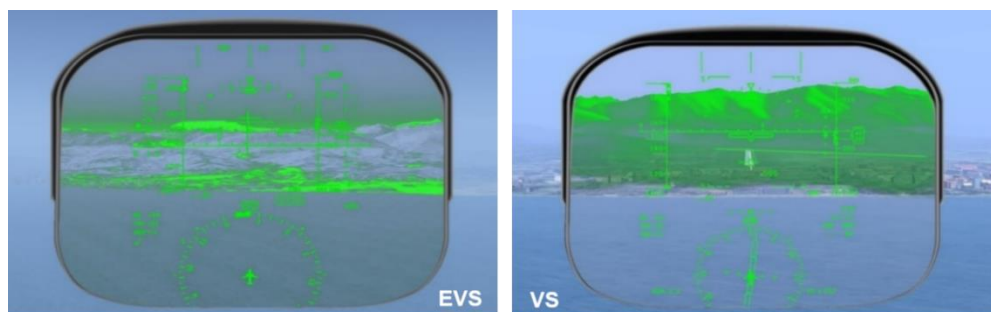


Рис. 3. Улучшенное и синтезированное изображения местности на ИЛС

Система комбинированного видения (CVS – Combined Vision System) объединяет в себе функции улучшенного и синтезированного видения.

CVS предназначена для решения следующих задач:

– предварительная обработка EVS изображений (изменение диапазона яркостей, выделение границ объектов, формирование связанных фрагментов, скелетизация и векторизация фрагментов) с целью улучшения видения и подготовки их для геометрического совмещения с SVS изображениями;

– геометрическое совмещение EVS и SVS изображений в реальном масштабе времени;

– совместная визуализация EVS и SVS изображений в зависимости от достижимой погрешности их совмещения.

CVS обеспечивают увеличение дальности видимости ориентиров на местности и улучшение ситуационной осведомленности экипажа за счет формирования средствами технического зрения и компьютерной визуализации объединенного графического образа реальных и виртуальных изображений закабинного пространства и вывода этого изображения на индикаторы экипажу. При этом возможно использовать отдельный режим индикации CVS, когда на больших высотах летчику, как правило, предоставляется изображение от SVS, а при посадке и рулении по ВПП – от EVS.

Системы поддержки экипажа

Интеллектуальные информационные системы поддержки экипажа, функционирующие в реальном масштабе времени, предназначены для комплексного решения следующих задач [13, 14]:

– комплексный анализ в реальном времени информационных потоков об окружающей обстановке от СТЗ, радиотехнических и лазерных обзорных средств, вторичных средств наблюдения, спутниковых навигационных систем и наземных служб управления воздушным движением (УВД);

– комплексный анализ входных информационных потоков, формирование гарантированного комплексного (во всех диапазонах технического зрения) изображения внутри- и закабинного пространства ВС на всех этапах полета;

– системный анализ данных от подсистем функциональной безопасности, выделение и системная диагностика источников риска для обеспечения безопасности полета ВС;

– прогнозирование будущих опасных сочетаний факторов с учетом плана полета (траектории ВС) и оценки изменения внешней обстановки и внутреннего состояния ВС;

– обобщенное аудиовизуальное представление полученной информации и результатов анализа экипажу ВС в простой и наглядной форме;

– выработка и выдача экспертных рекомендаций экипажу на предотвращение и вывод ВС из опасного состояния;

– автоматическое выполнение действий (выдача команд системам ВС), направленных на вывод ВС из опасного состояния;

– блокировка и (или) парирование действий экипажа, ведущих к повышению опасности для ВС;

– выборочная передача наземным службам полученной информации и результатов анализа по бортовым каналам связи.

Комплексность задач обусловлена необходимостью одновременного и совместного контроля большого числа факторов внешней обстановки и параметров состояния ВС, а также экспертного выявления их сочетаний, несущих риск возникновения особой ситуации. Реализация алгоритмов интеллектуальных информационных систем поддержки экипажа в перспективном КБО может осуществляться как с использованием общих вычислительных ресурсов, так и путем создания собственной вычислительной платформы. Вариант реализации системы на платформе ИМА показан на рис. 4 [14].

Аппаратная часть системы может включать следующие источники информации о внешней обстановке:

– бортовые многодиапазонные средства технического зрения, в том числе гиперспектральные, с высокой пространственной и спектральной разрешающей способностью;

– бортовые и мобильные автономные лидарные средства для определения спутного следа ВС, турбулентности при ясном небе, сдвига ветра, оперативной диагностики потенциально опасных в экологическом отношении объектов, определения физических свойств и динамики распространения естественных и искусственных атмосферных аэрозольных образований;

– многофункциональные радиолокационные средства для задач метеонавигационного обзора, обзора земной поверхности и поиска объектов с высокой пространственной разрешающей способностью;

– многоканальные оптикоэлектронные системы контроля и наблюдения за объектами особой важности с измерением координат, дальности до объектов наблюдения и регистрации видеоинформации.

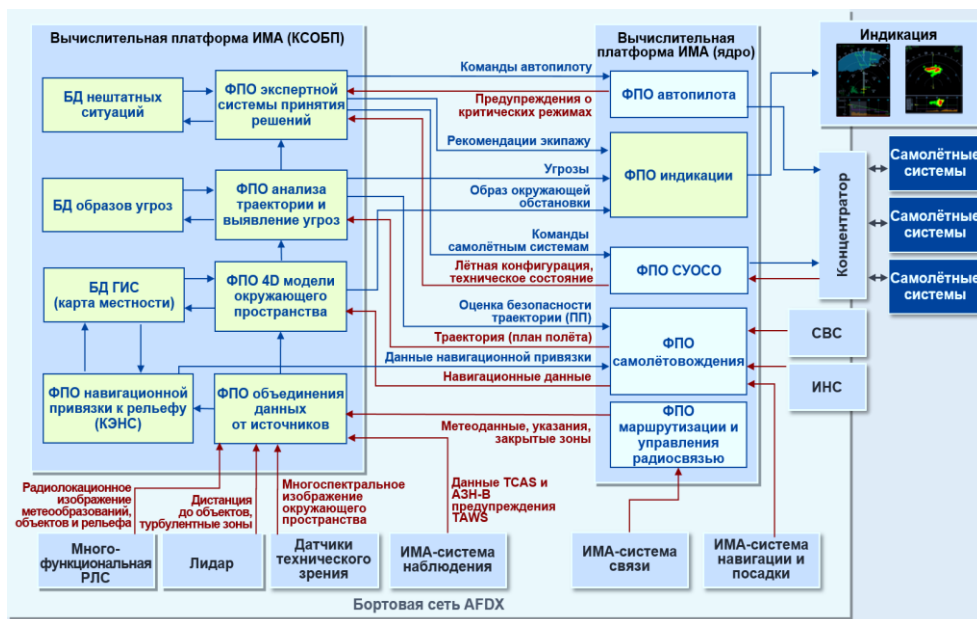


Рис. 4. Пример реализации системы поддержки экипажа

В то же время во многих областях применения авиационной техники речь сегодня идет уже не об улучшении отдельных характеристик единичных ВС, а о наиболее эффективных способах построения и использования целостных систем управления, связи, обработки и сбора информации. Эти системы могут включать множество ВС, подсистем, служб и сетей, в том числе связанных с изображениями и географическими данными. В них могут входить космические и авиационные платформы получения данных, службы географической поддержки, наземные системы сбора информации, системы планирования операций, моделирования, навигации, управления движением, целеуказания и ряд других.

Интеллектуальная самодиагностика

Беспроводные сенсорные сети

Существенное расширение функциональности КБО перспективных ВС возможно за счет внедрения бортовых беспроводных сенсорных сетей, представляющих собой распределенные системы наблюдения и управления ресурсами и процессами, построенные с использованием низкоэнергозатратных технологий. Такие сети могут включать в себя десятки тысяч относительно близкорасположенных миниатюрных интеллектуальных узлов, соединенных в сеть, которые способны измерять и регулировать

различные физические параметры, осуществлять предварительную обработку и передачу информации [15].

Системы, построенные на основе беспроводных сенсорных сетей, предназначены для решения следующих задач:

- контроль технического состояния элементов ВС;
- контроль нагрузок на конструкцию и элементы ВС, груз, пассажиров и экипаж;
- контроль микроклимата кабины экипажа и салона;
- контроль и управление обтеканием элементов ВС;
- управление распределенными исполнительными устройствами СУ ВС;
- контроль психофизиологического состояния экипажа и пассажиров и т.д.

Построение таких распределенных самоорганизующихся отказоустойчивых систем сбора, обработки и передачи большого объема информации, образующих «нервную» систему ВС, может осуществляться с помощью различных технологий беспроводной передачи данных и электроэнергии (рис. 5) [16].

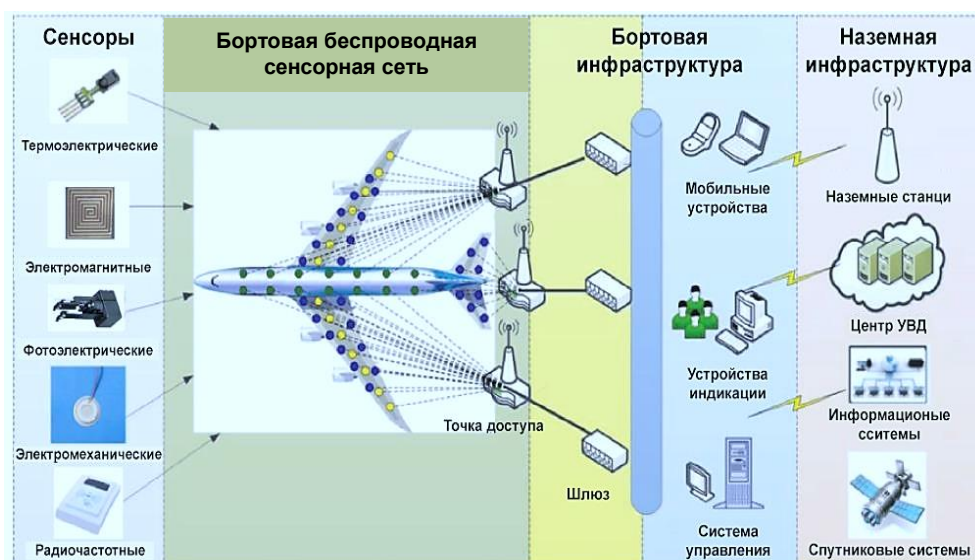


Рис. 5. Архитектура и инфраструктура бортовой сенсорной сети

Технологическую основу таких систем составляют низкоэнергозатратные, необслуживаемые и не требующие специальной установки датчики (вибрационные, инфракрасные, электрохимические, электромеханические, акустические, волоконно-оптические), актуаторы (микро- и нанoeлектромеханические), генераторы (термоэлектрические, вибрационные, кинетические, электромагнитные), накопители (суперконденсаторы, тонкопленочные батареи, микроаккумуляторы) и беспроводные трансиверы (индуктивные, электромагнитные, радиочастотные) электроэнергии.

Техническая аутентификация

Решение проблемных вопросов обеспечения безопасной эксплуатации ВС, во многом, определяется получением достоверной информации о техническом состоянии ВС и его компонентах, и особенно, актуализации данной информации применительно ко времени принятия решения о продолжении эксплуатации. Важным условием успешного решения данной задачи является использование технологий автоматизированных информационных систем, включающих автоматизацию процедур сбора текущей информации для оценки аутентичности жизненного цикла компонентов ВС (КВС), организацию полностью безбумажной модели документооборота, полномасштабный удаленный контроль летной годности КВС и пр. Расширение применения информационных технологий в вопросах обеспечения эксплуатации самолета вызвало необходимость разработки и внедрения специальных электронных средств (электронно-читаемых носителей информации), которые могут быть размещены непосредственно на КВС, содержат основные данные для однозначной идентификации компонента, располагают возможностями для записи и хранения данных, формируемых в процессе его эксплуатации [17].

В настоящее время в мировой авиационной отрасли в качестве таких специальных средств определения идентификационных признаков, присущих изделиям ВС, применяются радиочастотные метки. Применение радиочастотных меток рассматривается в качестве перспективного направления комплексного решения задач прослеживания текущего состояния ресурсных агрегатов авиационной техники.

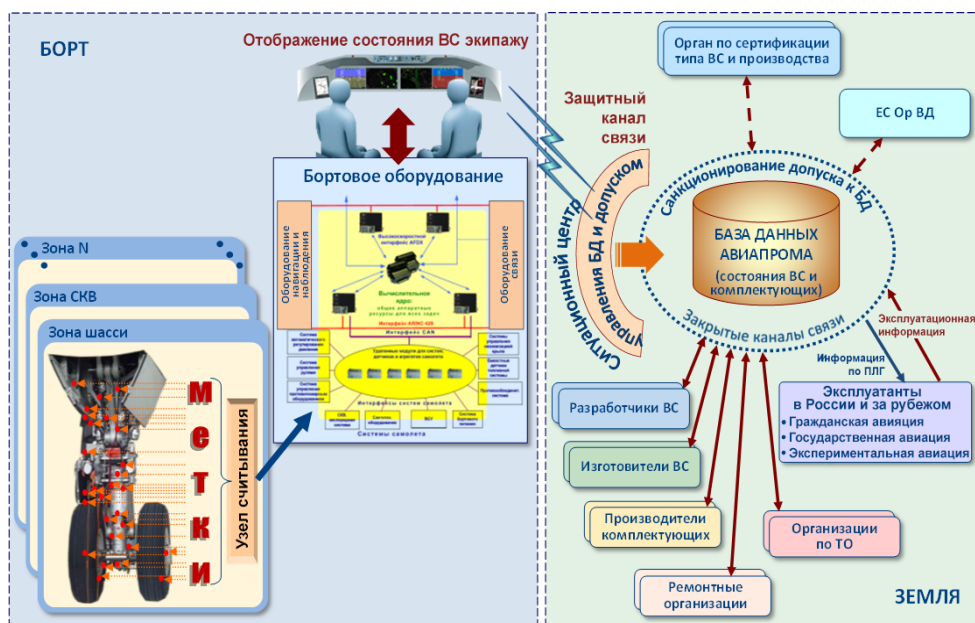


Рис. 6. Техническая аутентификация бортового оборудования

Функционирование таких средств обеспечивается соответствующим комплексом средств радиочастотной идентификации (RFID – Radio Frequency IDentification), включающего в себя необходимые аппаратные и программные составляющие. Эта технология позволяет передавать и получать информацию от идентифицируемых объектов по радиоканалу и не требует наличия прямой видимости или физического контакта между считывателем и идентификатором. Принципы применения радиочастотных меток предполагают их фиксацию на КВС и сопровождающей документации в рамках типовой схемы технологического процесса движения агрегатов ВС, охватывающей следующие субъекты: заводы-производители КВС, сборочные и ремонтные заводы, склады эксплуатантов ВС (рис. 6) [18].

В радиочастотные метки в автоматизированном режиме вводится закодированная информация о текущем состоянии КВС, они допускают ее чтение при контроле его аутентичности и повторную перезапись. Дальнейшая обработка потоков поступающей информации, их систематизация, хранение в течение заданного времени, аналитическая обработка и формирование отчетов по запросам контролирующих органов обеспечивается применением современных технологий баз данных, средств анализа и телекоммуникаций.

Интеллектуальное управление

Управление 4D-траекторией полета

В области интеллектуализации управления ключевым направлением является реализации траекторий полета с учетом времени прибытия в конечную точку (4D-траекторий), которые станут существенным элементом системы УВД следующего поколения. Предполагается, что самолеты будут летать по точным четырехмерным траекториям, где четвертым измерением является время, что потребует согласовывать 4D-траекторию полета от взлета до посадки, сопровождая и обновляя ее с учетом, например, таких факторов, как изменение ветра или ограничения в системе УВД (рис. 7) [19, 20].



Рис. 7. Пространственно-временное (4D) управление

Реализация такого подхода потребует оптимизации летно-технических характеристик полета по индексу стоимости с учетом всех ограничений и с учетом расширенной модели атмосферы (многоэшелонный ветер и температура) и построения 4D-траектории одновременно для каждого типа полетного плана (активного, измененного, дополнительного). Одновременно на борту должны решаться задачи комплексной обработки информации, идентификации характеристик ВС, оценки возмущающих факторов, прогнозирования и управления. Реализация данного подхода позволит добиться существенного снижения стоимости полетов ВС.

Управление вычислительным процессом

Перспективный КБО ВС будет представлять собой открытую сетевую отказоустойчивую функционально-ориентированную архитектуру, построенную на базе масштабируемой интегрированной модульной авионики (ИМА) или распределенной модульной электроники (РМЭ) с использованием единой вычислительной среды (платформы). Функции систем КБО в этом случае выполняют программные приложения, разделяющие общие вычислительные и информационные ресурсы. Важной особенностью такой архитектуры является отсутствие фиксированных связей между датчиками бортового оборудования (информационными каналами), вычислительными средствами и исполнительными устройствами. Это позволяет решать задачу управления вычислительным процессом на борту ВС за счет реализации динамической реконфигурации структуры КБО с соответствующим перераспределением вычислительных ресурсов.

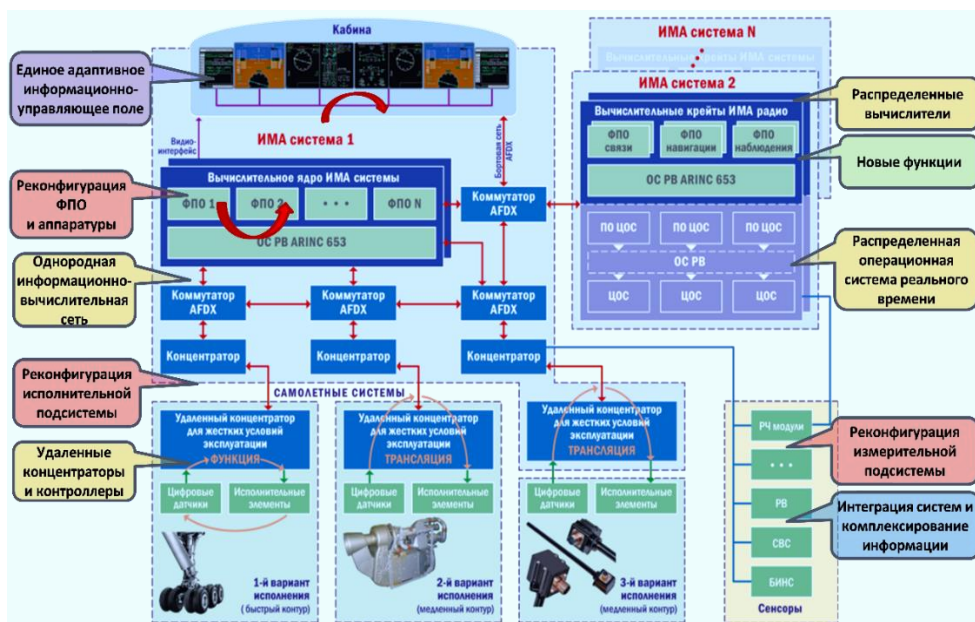


Рис. 8. Управление вычислительным процессом

Внутри вычислительной среды формируются (с подключением к необходимым информационным каналам комплекса) структуры для оптимального выполнения каждой функции. Каждая возникающая при этом структура формируется только на время выполнения заданной функции. Таким образом, общая конфигурация вычислительной среды динамически перестраивается в процессе функционирования комплекса. Функциональное ПО реконфигурируется внутри вычислительной платформы, в результате чего снижается влияние отказов вычислительной платформы на общий уровень безопасности полетов (рис. 8) [21, 22]. В данную структуру могут внедряться высоко интегрированные мультифункциональные системы основных функций, например, единая программно-управляемая радиосистема связи, навигации и наблюдения. Функции общесамолетных систем также максимально используют общие вычислительные ресурсы комплекса.

Управление техническим состоянием

Качественное повышение уровня безопасности полетов возможно только при выявлении и устранении опасных факторов еще до того, как возникнет необходимость рассматривать их в качестве причин состоявшихся авиационных происшествий. Такой подход требует изменения сложившейся системы информационного обеспечения и решения проблемы повышения оперативности, глубины и расширения базы данных о функционировании воздушного судна (его телеметрической информации) за счет внедрения интегрированных систем управления техническим состоянием (ИСУТС) ВС. Основной особенностью разрабатываемой системы является не только мониторинг технического состояния ВС, но и прогнозирование оставшегося времени безотказной работы, что является основой для перехода к эксплуатации авиационной техники по состоянию. Применение технологий мониторинга в реальном масштабе времени позволит непосредственно в процессе полета проводить полный (оперативный, поисковый, прогностический и интеллектуальный) анализ работоспособности оборудования и систем ВС, состояния экипажа и осуществлять контроль его действий.

В настоящее время уже сформировался предполагаемый функциональный облик ИСУТС ВС, показанный на рис. 9 [23, 24].

При создании ИСУТС ВС необходимо также предусмотреть ее сопряжение с существующими и разрабатываемыми автоматизированными системами, участвующими в эксплуатации и обеспечении безопасности авиационной техники. К таким системам, например, относятся:

- автоматизированная система обеспечения безопасности полетов;
- информационно-аналитическая система мониторинга летной годности ВС;
- система сбора, учета и анализа информации об отказах;
- информационно-аналитическая система оценки аутентичности компонентов.

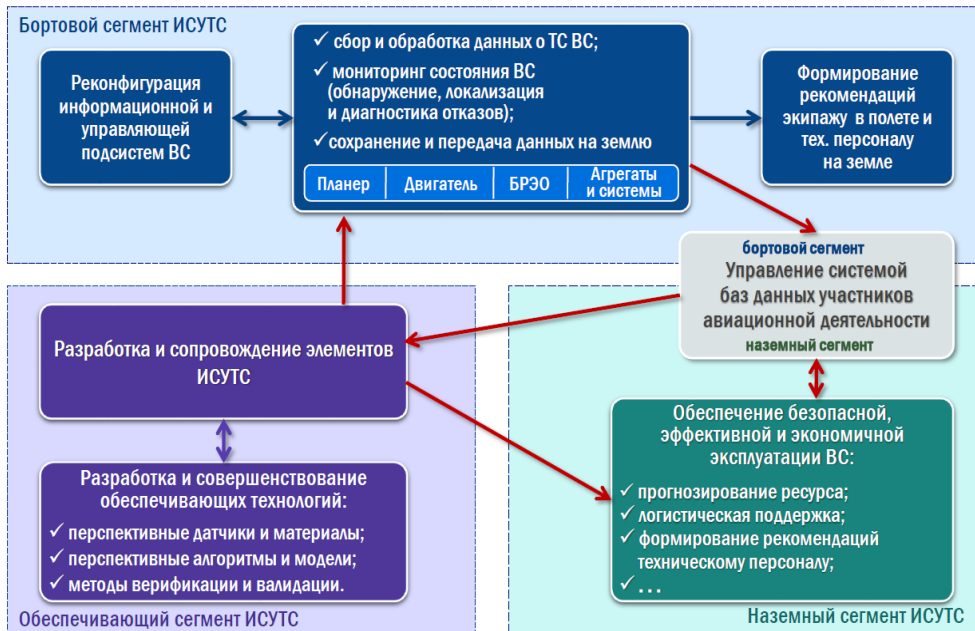


Рис. 9. Функциональная модель ИСУТС ВС

Беспилотное управление

Беспилотные системы являются также примером интеллектуализации [25, 26]. Можно выделить следующие перспективные направления интеллектуализации БПЛА:

- реализация полностью автоматических роботизированных авиационных аппаратов и технологий их группового применения для решения широкого комплекса задач;
- интеллектуализация систем управления автономных БПЛА с реализацией функции ситуационной осведомленности на всех участках полета;
- создание систем типа «распределенный сенсор» на базе группы автономных БПЛА различного типажа с различными наборами датчиков;
- создание многоспектральных и многоканальных систем наблюдения на базе дистанционно-пилотируемых БПЛА и групп БПЛА различного типажа и назначения.

Перспектива

Дальнейшая интеллектуализация пилотируемой и беспилотной авиации в перспективе связана с внедрением в бортовые авиационные системы методов глубокого обучения и самообучения. Научная область машинного обучения переживает сейчас настоящую технологическую революцию. Первая волна этой технологической революции началась в 2011 г. и была связана с появлением и распространением глубоких конволюционных (сверточных) нейронных сетей (ГКНС) и методов глубокого обучения. В 2016-2017 гг.

появился ряд новых подходов и научных результатов, указывающих на то, что началась вторая волна этой технологической революции. Это такие методы и подходы как глубокие соревнующиеся сети, обучение глубоких сетей методом подкрепления, автоматическое конструирование и обучение глубоких сетей при помощи других глубоких сетей, решение задач исследования операций с использованием ГКНС.

Важнейшими для потенциальных бортовых авиационных приложений также являются методы глубокого обучения для интерпретации динамической сенсорной информации на естественном языке и

технике, связаны с увеличением ее безопасности и эффективности, при этом, возможности человека-оператора (пилота) приближаются к пределам психофизиологических лимитов. Поэтому на новый уровень безопасности авиационных перевозок и их эффективность можно выйти только за счет внедрения новых технологий интеллектуализации комплексов бортового оборудования ВС.

Технологии интеллектуализации бортового оборудования являются полем острого мирового соперничества наиболее развитых экономически стран (США, Франция, Германия, Канада, Япония, Китай). Поэтому конкурентных преимуществ можно достигнуть только при условии внедрения наиболее передовых, наукоемких разработок и технологий. Прорыв в вопросах интеллектуализации может быть достигнут только при активном взаимодействии РАН и ведущих центров прикладной науки. Это позволит консолидировать усилия по созданию нового фундаментального научного задела, а также обеспечить межотраслевую и междисциплинарную интеграцию прорывных технологий.

Анализ последних научных результатов в области машинного обучения позволяет сделать обоснованный прогноз о том, что практические элементы функционального «искусственного интеллекта» в авиации могут быть созданы уже к 2020-2025 гг.

Это существенно повлияет на целый ряд технологий, определяющих перспективы создания нового поколения воздушных судов, пилотируемой и беспилотной авиации гражданского и военного назначения.

Автор выражает благодарность профессорам РАН В.В. Косьянчуку и Ю.В. Визильтеру за предоставленные материалы и оказанную помощь.

Литература

1. Желтов С.Ю., Косьянчук В.В. Перспективы интеллектуализации современных авиационных комплексов // Вестник РАН. 2018. Т. 88. № 2. С. 107–117.
2. Желтов С.Ю. Основные направления создания комплексов бортового оборудования воздушных судов с учетом требований по унификации, импортозамещению и внедрению критических технологий // Труды ГосНИИАС. Серия: Вопросы авионики. 2018. № 3 (36). С. 63-74.
3. Желтов С.Ю., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Перспективы интеллектуализации современных авиационных комплексов // Авиационные системы. 2016. № 5. С. 38-45.

4. Зыбин Е.Ю., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Электрификация и интеллектуализация – основные тенденции развития энергокомплекса воздушных судов // *Авиационные системы*. 2016. № 5. С. 45-51.
5. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Перспективы использования интеллектуальных технологий при создании нового поколения авиационных систем // *Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского*. 2018. № 6. С. 77-86.
6. Федосов Е.А. Проект создания нового поколения интегрированной модульной авионики с открытой архитектурой // *Авиационные системы*. 2016. № 5. С. 24-29.
7. Зыбин Е.Ю., Косьянчук В.В. Эволюция архитектуры комплекса бортового оборудования воздушных судов // *Авиационные системы в XXI веке*. Сб. тез. докл. 2016. С. 198.
8. Желтов С.Ю., Косьянчук В.В. Интеллектуализация бортовых комплексов воздушных судов // *Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского*. 2017. № 5. С. 36-41.
9. Желтов С.Ю., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Перспективы интеллектуализации современных авиационных комплексов // В сборнике: *Аналитическая механика, устойчивость и управление. Труды XI Международной Четаевской конференции, посвященной 115-летию со дня рождения Н.Г. Четаева и памяти академика АН РТ Т.К. Сиразетдинова*. 2017. С. 125-137.
10. Федунев Б.Е. Технологии XXI века для повышения ситуационной осведомленности экипажа // *Авиационные системы*. 2013. № 9. С. 23-27.
11. Выголов О.В., Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Разработка прототипов систем улучшенного, синтезированного и комбинированного видения для самолетов и вертолетов гражданской авиации // *Авиационные системы в XXI веке*. Сб. тез. докл. 2016. С. 196.
12. Желтов С.Ю., Визильтер Ю.В., Выголов О.В. Разработка системы улучшенного и синтезированного видения на платформе интегрированной модульной авионики // *Авиационные системы*. 2016. № 5. С. 29-38.
13. Колисниченко А.В., Федунев Б.Е. Бортовая интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа вертолета» // *Авиационные системы в XXI веке*. Сб. докл. 2017. С. 398-406.
14. Желтов С.Ю., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Перспективы интеллектуализации современных авиационных комплексов // В сб.: *Материалы пленарного заседания 7-й Российской мультikonференции по проблемам управления ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»*. 2014. С. 54-60.
15. Титков О.С. Перспективные направления разработки бортовых сенсорных устройств // *Авиационные системы*. 2017. № 1. С. 20-23.
16. Gao S. et al. Airborne Wireless Sensor Networks for Airplane Monitoring System // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2018. V. 2018. Article ID 6025825.
17. Буряк Ю.И., Скрынников А.А. Непрерывный мониторинг состояния воздушных судов и авиационных групп // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2016. № 4. С. 125–140.
18. Буряк Ю.И., Новиков А.В. Современное состояние и направления развития информационных технологий для управления оперативным техническим обслуживанием воздушных судов // *Авиационные системы*. 2016. № 12. С. 42-51.
19. Вишнякова Л.В. Компьютерное имитационное математическое моделирование авиационных систем и решаемые с его помощью задачи // Сб. докл. *Авиационные системы в XXI веке*. 2017. С. 61-75.

20. Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Новая функциональность бортового оборудования воздушных судов // В сб.: Десятая всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2017. Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции. В 3-х томах. 2017. С. 139-141.

21. Чуянов Г.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Перспективы развития комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3 (140). С. 55-62.

22. Chuyanov G.A., Kosyanchuk V.V., Selvesyuk N.I., Zybin E.Y. Advanced avionics equipment on the basis of second generation integrated modular avionics // 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. ICAS 2014 CD-ROM proceedings. 2014.

23. Чуянов Г.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И., Кравченко С.В. Направления совершенствования бортового оборудования для повышения безопасности полетов воздушного судна // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 6 (155). С. 219-229.

24. Косьянчук В.В., Зыбин Е.Ю., Карпенко С.С., Бондаренко Ю.В. Резервированная интегрированная система мониторинга технического состояния воздушного судна // В кн.: Девятый международный аэрокосмический конгресс IAC18. Тез. докл. 2018. С. 119-121.

25. Желтов С.Ю., Федун Б.Е. Распределенный бортовой искусственный интеллект поддержки процесса решения тактических задач экипажами летательных аппаратов // В сб.: Искусственный интеллект: проблемы и пути решения. Мат. конф. 2018. С. 17-23.

26. Бусурин В.И., Желтов С.Ю., Кудрявцев П.С. Системы визуального управления автономными беспилотными летательными аппаратами морского базирования. Москва: МАИ. 2017.

Н.А. Колчанов¹, Д.И. Свириденко², В.А. Иванисенко³, Е.Е. Витяев², М.П. Пономаренко³, О.В. Сайк³, С.А. Лашин³, Ю.В. Зозуля⁴
Методы искусственного интеллекта для наук о жизни

Рассмотрено применение методов искусственного интеллекта в изучении фундаментальных особенностей молекулярно-генетической организации живых систем, а также при решении широкого круга актуальных прикладных задач медицины, фармакологии, сельского хозяйства и др. (рис. 1).

Отмечается ограниченная применимость таких современных технологий искусственного интеллекта, как нейронные сети и глубокое машинное обучение при решении широкого класса задач. Указываются и анализируются основные причины данного обстоятельства – наличие эффекта «черный ящик» и неадаптируемость указанных технологий к особенностям данных.



Рис. 1. Рост публикаций в области живых систем

Предлагается семантический подход к решению задач интеллектуальной обработки данных, в том числе к построению нейронных сетей и машинного обучения, позволяющий преодолеть указанные недостатки.

Приводятся примеры решения конкретных задач, демонстрирующих преимущества и достоинства семантического подхода.

¹ Научный руководитель ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН», академик РАН

² Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

³ ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»

⁴ АО «Спецхимия»

Д.В. Ушаков¹

Методы искусственного интеллекта в социально-гуманитарной сфере

Рассмотрены три линии взаимодействия искусственного интеллекта с социо-гуманитарными науками, в рамках одной из которых искусственный интеллект способствует решению фундаментальных задач социо-гуманитарных наук, в рамках другой – социо-гуманитарные науки помогают решать проблемы, возникающие в связи с искусственным интеллектом, а в рамках третьей – обе группы наук взаимодействуют для решения проблем современного общества.

Искусственный интеллект в фундаментальных социо-гуманитарных исследованиях

Необходимым инструментом социо-гуманитарных исследований является анализ данных. Искусственный интеллект предоставляет современные способы анализа больших массивов данных. Благодаря этому формируются принципиально новые возможности для проверки моделей человека и общества с использованием больших массивов данных, таких как Интернет.

Взаимообогащение фундаментальных исследований по искусственному интеллекту и социо-гуманитарных наук происходит также за счет обмена моделями человека и его интеллектуальных способностей. Так, представление о нейронных сетях пришло в искусственный из наук о человеке, где прошло путь от идей ассоцианистской психологии через физиологию И.П. Павлова и понятие синапса Д. Хебба. В свою очередь методы, применяемые для создания устройств и программ искусственного интеллекта, существенно повлияли на представителей когнитивного направления в социо-гуманитарных науках.

Искусственный интеллект в решении социальных и психологических проблем

Работа с социальной и психологической действительностью, ввиду ее многофакторности, предполагает распознавание сложных паттернов и трудоемкие вычисления при принятии решений. Во многих случаях именно искусственный интеллект оказывается лучшим практическим средством для решения такого рода задач и уже в наши дни становится основой соответствующих технологий.

Таковыми технологиями являются автоматическое распознавание эмоционального состояния людей в целях улучшения психологического климата, выявления террористов или детекции лжи, диагностика индивидуальных особенностей людей на основе больших данных о поведении (например, в Интернете), создание искусственных собеседников-психотерапевтов, решение задач управления финансовыми активами с помощью ботов, перевод между естественными языками и многие другие.

¹ Директор Института психологии РАН, член-корреспондент РАН

Взаимодействие людей с искусственным интеллектом

Внедрение технологий искусственного интеллекта перестраивает жизнь людей и требует сопровождения методами социо-гуманитарных наук. Одно из ближайших по времени событий в этом плане – внедрение систем искусственного интеллекта в управление автомобилями.

Это ставит много проблем, относящихся к различным областям:

- юриспруденции (кто несет ответственность в случае аварий автоматического транспорта?);

- этики (какой алгоритм зашить в автономный автомобиль, если стоит выбор нанесения ущерба, например, либо двум взрослым людям, либо одному ребенку?);

- психологии (как устранить тревогу у водителя, передавшего управление автомобилем автомату, или предотвратить опасности, возникающие в момент обратного принятия человеком функции управления на себя?).

Еще более сложные проблемы обсуждают футурологи в связи с перспективой создания сверхмощного искусственного интеллекта, который по крайней мере в некоторых отношениях сможет превзойти интеллект современного человека.

Г.С. Осипов¹, И.С. Ашманов²

Методы и технологии искусственного интеллекта в анализе естественно-языковых текстов

Важным направлением обсуждаемой концепции является исследование когнитивных методов и моделей компьютерного понимания естественного языка. Большинство существующих подходов основано на информационных измерениях текста (т.е. рассматривают текст как последовательности символов) и не учитывают его лингвистической природы.

Предлагаемая реляционно-ситуационная модель анализа текста возникла на стыке фундаментальной лингвистической теории – коммуникативной грамматики русского языка (Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН) и методов снятия лингвистической многозначности и представления высказываний в виде специально разработанной модели представления знаний – неоднородной семантической сети (ФИЦ ИУ РАН).

Согласно коммуникативной грамматике, в формировании осмысленных предложений важную роль играет синтаксис. Сами лексемы не передают смысл высказывания. В высказывании присутствуют минимальные единицы, имеющие категориальное значение, «атомы смысла», названные *синтаксемами*. В частности, именная синтаксема характеризуется предлогом, падежом и категориально-семантическим классом существительного, от которого она образована.

Категориальное значение синтаксем и есть тот элементарный смысл, который передается синтаксемой. Нами построено отображение морфологических форм синтаксем в их категориальные значения и предложены методы, основанные на алгоритмах индуктивного машинного обучения, построения правил снятия многозначности этого отображения.

Приведем в качестве примера одно из таких правил: «Если встречается синтаксема в падеже <родительный> с предлогами <из, изо>, имеющая категориальный класс <локатив>, а рядом с ней встречается синтаксема в падеже <именительный>, имеющая категориальный класс <личное>, то первая синтаксема имеет категориальное значение <точка начала движения>. Всего автоматически построено 600 таких правил.

На множестве категориальных значений синтаксем определено семейство бинарных отношений. Значение всего высказывания в таком случае есть множество категориальных значений синтаксем с заданным на нем семейством бинарных отношений. Это означает, что построен образ высказывания – формальная алгебраическая структура, а именно неоднородная семантическая сеть, в вершинах которой находятся синтаксем, а дуги связывают элементы бинарных отношений на множестве синтаксем, а процедуры интерпретации дуг позволяют реализовать рассуждения. Таким образом, возникает объект, с которым можно работать точными методами.

¹ Заместитель директора по научной работе ФИЦ «Информатика и управление» РАН, доктор физико-математических наук

² ООО «Ашманов и партнеры», кандидат технических наук

На этом пути удалось решить следующие задачи:

- релевантного семантического поиска по запросу на естественном языке (www.exactus.ru);

- автоматического выявления научных коллективов, научных направлений и динамики публикационной активности по направлениям на основе анализа первичных научных текстов, анализа патентной информации, оценки качества научных публикаций, выявления семантических дефектов, проверки соответствия структуры публикации требованиям журналов, выявления авторских терминов и описания результатов и другие.

Реализован ряд систем с указанной функциональностью (<http://expert.exactus.ru>, <http://demo.textapp.ru>). В настоящее время исследуются методы выявления авторской картины мира на основе реляционно-ситуационной модели анализа текста.

В.Б. Бетелин¹

О ключевой роли фундаментальной науки в стратегии научно-технологического развития Российской Федерации

1. Экономика услуг – большой вызов, не получивший широкого общественного признания

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная указом Президента РФ № 642 от 01.12.2016, определяет ключевую роль фундаментальной науки в обеспечении готовности страны отвечать на вызовы, обусловленные рисками научно-технологического развития. То есть о будущих, еще не проявившихся угрозах, требующих научной оценки и общественного признания.

Таким большим вызовом является «экономика услуг», сформированная в России в результате проведения либеральных рыночных реформ. В основе этой экономики не производство собственной промышленной продукции, а оказание услуг по продаже и использованию такой продукции, вне зависимости от того, где и кем эта промышленная продукция произведена.

Прямым следствием формирования «экономики услуг» является критически высокая импортозависимость страны в области полупроводников, радиоэлектроники и бытовой электроники, то есть Россия является только потребителем, но не сколь-нибудь значимым производителем на этих глобальных мировых рынках.

Реальную угрозу экономическому и технологическому суверенитету России представляет и предлагаемая авторами «экономики услуг» новая система образования [2], цель которой получение прибыли «в течение всей жизни» клиента, а не подготовка специалистов для промышленности и науки страны.

2. «Интернет вещей» – угроза, еще не осознанная ни государством, ни обществом

Сенат США 24 марта 2015 года принял решение №110 о разработке стратегии развития «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» как катализатора роста экономики США и ускорении разработки и внедрения «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ».

В 2016 г. Рабочей группой, включающей представителей промышленности, академических, правительственных и других структур США был подготовлен 30-страничный документ (далее Документ), содержащий стратегические политические рекомендации, принятие которых, по мнению авторов, должно обеспечить безусловное лидерство США в технологии «интернета вещей».

Существенно важно, что инициаторами этого диалога и его наиболее активными участниками были представители полупроводниковых компаний INTEL и SAMSUNG, а также SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION

¹ Научный руководитель ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, академик РАН

(SIA) – Ассоциации производителей полупроводников США (<https://www.itic.org/dotAsset/bdce6de4-8a00-49c5-a7a9-4dfb95609a76.pdf>).

В соответствии с определением, данным в этом Документе, «интернет вещей» состоит из «вещей» (устройств), подсоединенных посредством сети к облакам (центрам данных), из которых данные могут быть извлечены и проанализированы. К числу таких «вещей» (устройств), согласно данному документу, относятся бытовая техника, одежда, цветные телевизоры, автомобили (потребительский «интернет вещей»), а также заводское оборудование, медицинские приборы, торговые системы (промышленный «интернет вещей»).

На странице 12 Документа констатируется, что свободное перемещение цифровых данных через границы позволяет компаниям США способствовать инновациям, росту и созданию рабочих мест в Америке.

В случае установки цифровых торговых барьеров американские компании потеряют больше всех. Поэтому, чтобы сохранить конкурентоспособность экономики Америки, федеральное правительство должно энергично защищать свободу организации трансграничных потоков цифровых данных путем торговых соглашений и других механизмов принуждения торговых партнеров. То есть, обеспечить право компаниям США хранить, обрабатывать и манипулировать своими данными в пределах границ страны, в том числе, и данными, извлеченными из подключенных к интернету бытовой техники, телевизоров, автомобилей, заводского оборудования и т.д., с цифровыми системами контроля и управления, произведенными американскими или аффилированными с ними компаниями.

Именно эти зарубежные компании, а не российский потребитель, и будут реально управлять функционированием всей бытовой техники, включая автомобили и бытовую радиоэлектронику, и всем промышленным или медицинским оборудованием, приобретенными по импорту или собранными из импортных комплектующих, включая цифровые системы управления.

Реальность этой угрозы обусловлена, во-первых, критически высоким уровнем импортозависимости России, в части бытовой радиоэлектроники, бытовой техники, включая легковые автомобили и ИТ-оборудования, и во-вторых планами создания к 2024 году экосистемы цифровой экономики Российской Федерации, в которой будет обеспечено эффективное **взаимодействие, включая трансграничное,** бизнеса, научно-образовательного сообщества, государства и граждан [1].

Заметим, что уже сегодня, российский пользователь программных продуктов и сервисов компаний Microsoft, Apple и Google, практически не может оградить себя от обновлений программного обеспечения, навязываемых производителями.

Проект закона об «ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ» «DIGIT Act» – (DEVELOPING INNOVATION AND GROWING THE INTERNET OF THINGS), был представлен на рассмотрение Сената США в начале 2017 года, одобрен Сенатом и передан на рассмотрение в Палату представителей в конце 2017 года. В преамбуле закона прогнозируется, что к 2020 году к интернету будет

подключено более 50 млрд устройств, и, что «ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ» может генерировать триллионы долларов оборота в новой экономической деятельности по всему миру.

Эта новая экономическая деятельность, генерирующая триллионы долларов, будет связана, прежде всего, с производством, американскими и аффилированными с ними компаниями, сотен миллиардов полупроводников и десятков миллиардов цифровых систем управления этими 50 миллиардами устройств, подключенными к «ИНТЕРНЕТУ ВЕЩЕЙ». Эти компании, собственно, и будут в числе основных получателей триллионов долларов.

Россия не владеет технологиями и не располагает предприятиями, способными обеспечить производство таких объемов полупроводников и электронных цифровых систем управления на их основе. Продукцию, относящуюся к категории как потребительского, так и промышленного «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ», Россия всего лишь импортирует или собирает из импортных комплектующих. Поэтому Россия будет только донором, но не получателем этих триллионов. Действительно, уже в течение многих лет Россия ежегодно закупает на миллиарды долларов импортные или собранные из импортных комплектующих автомобили, бытовую технику и электронику. Например, только в 2017 году было закуплено 1,4 млн автомобилей на \$33 млрд (Fortune Global 500), а бытовой техники и электроники на \$20 млрд (<https://www.kommersant.ru/doc/3548661>).

Очевидно, что в существующих экономических и производственных условиях, внедрение в России «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» в варианте, реализуемом зарубежными лидерами глобальных рынков полупроводников, бытовой техники и радиоэлектроники, легковых автомобилей, приведет только к увеличению объемов закупаемой у этих компаний продукции и, как следствие, к еще большей импортозависимости России и существенному увеличению числа степени серьезности кибератак.

Возрастание угрозы кибератак связано в значительной степени с тем, что с 2008 года микропроцессоры и коммуникационные контроллеры компаний INTEL, AMD и ARM включают от одного до трех микропроцессорных ядер, которые аппаратно защищены от доступа, как из операционной системы, так и из прикладной программы. Эти дополнительные ядра доступны из внешней сети и имеют возможность контролировать весь сетевой поток на входе и выходе микропроцессора, до того, как к нему будут применены какие-либо механизмы шифрования, выполняемых «штатными» ядрами микропроцессоров. Отсюда следует, что никакую систему обработки данных на основе микропроцессоров INTEL, AMD и ARM выпуска 2008 года и позже принципиально невозможно защитить от внешних воздействий программным путем.

3. Наше будущее с «экономикой услуг» – жизнь в неопределенном и меняющемся мире

Именно с позиций «экономики услуг», обосновывается необходимость создания нового образования, которое *«...будет готовить людей к жизни в*

неопределенном и меняющемся мире и будет их постоянным спутником и помощником» [2, с. 25]. И эта новая система, будет формировать, и поддерживать, конечно, на платной основе, у людей этот взгляд на будущее в течение всей их жизни.

С позиции «экономики услуг», такой взгляд на будущее вполне обоснован, поскольку ни направления, ни возрастающая скорость обновления моделей высокотехнологичных потребительских товаров, без понимания технических и экономических проблем их производства, не поддаются сколь-нибудь долгосрочному прогнозированию. Именно эта «экономика услуг», а не экономика промышленного производства сложных технических систем, идентифицируется в [2, с. 21] как «**Современная быстро меняющаяся экономика требует непрерывного обновления знаний и навыков населения**». Причем скорость изменения этой экономики определяется скоростью изменения, согласно «стратегии двойного сокращения», моделей потребительских высокотехнологичных товаров [3]. Соответственно требуется «обновление знаний» о произошедших изменениях в потребительских свойствах этих обновленных моделей.

В условиях этой быстро меняющейся «экономики услуг», как это и констатируется в [2, с. 24], «**Принудительной школе приходит конец**». То есть, приходит конец школе, которая являлась основой системы образования, экономики, материального производства, сложных технических систем в России. И методическую основу этой школы подрывает не цифровая революция XXI века, как это утверждается в [2, с. 23], а уже, формируемая более десяти лет в России, система образования «экономики услуг», такие ее элементы как ЕГЭ, двухуровневое высшее образование [4, с. 42], образовательные траектории [4, с. 48, 2, с. 24]

Другими словами, «экономика услуг» этого будущего неопределенного и меняющегося мира, для которого и создается новое образование, не может, и не будет основываться на промышленном производстве сложных технических систем. Однако для оказания, каких-либо услуг этому миру потребуется использование продуктов материального производства, производимых в мире с другой экономикой.

Например, для оказания цифровых услуг потребуется вычислительное и коммуникационное оборудование, экономика производства которого сегодня основана на стратегии «двойного сокращения» [1]. Эта стратегия, в конечном счете, и является источником неопределенности и быстрой изменчивости мира экономики цифровых услуг.

За последние двадцать пять лет в России выросло уже целое поколение людей, которое и в образовательной системе (школа, ВУЗ) и в домашнем хозяйстве использовали радиоэлектронные устройства производства только зарубежных, но не отечественных производителей. Именно в этом и состоит первопричина импортозависимости страны – она в головах российских людей, которым уже более четверти века доступны для использования и на работе, и в быту только зарубежные радиоэлектроника и цифровые технологии.

Этот человеческий фактор – не что иное, как реальная угроза утраты экономического и технологического суверенитета России, который пока не осознан ни обществом, ни государством. В рамках либеральной «экономики услуг» эта угроза неустранима, а формирование в России в этих условиях цифровой экономики услуг и соответствующей системы образования означает полную утрату каких-либо надежд на восстановление экономически и социально значимых высокотехнологичных промышленных производств, в том числе и полупроводниковой и радиоэлектронной отраслей России. То есть утрату, в конечном счете, экономического и технологического суверенитета страны.

Литература

1. Бетелин В.Б. О проблеме диверсификации производства на предприятиях оборонно-промышленного комплекса России // Инновации, 2018, №7, с. 2-6.
2. Экспертный доклад «Двенадцать решений для нового образования», Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» и Центр стратегических разработок, 2018, <https://w.w.w.hse.ru/tweeve/>.
3. Бетелин В.Б. Проблемы и перспективы формирования цифровой экономики в России // Вестник РАН, 2018, том 88, №1, с. 3-9.
4. Образование и общество. Готова ли Россия инвестировать в свое будущее? Доклад ГУ ВШЭ, Москва, 2007.

К.В. Рудаков¹

О роли РАН в постановке и решении задач искусственного интеллекта

Область искусственного интеллекта стала настолько популярной, что у общества явно завышенные ожидания от всего этого. Большие данные, искусственный интеллект – все это произносится как некие мантры, которые сами по себе решают задачи. Это неправда. Сверхпрогресса здесь нет. Идет очень широкое внедрение. Причем, как всегда, когда область популярная, этим занимается очень много непрофессиональных людей. Думаю, что здесь роль Академии должна быть очень большой в плане оценки, постановки и качества решения задач.

Надо правильно ставить задачи, разумным образом их решать и, если задача решается просто, ее и надо решать просто.

Всеобщий интерес и мода на постановку и решение задач как бы в области искусственного интеллекта – вещь достаточно опасная.

Завышенные ожидания порождают большие разочарования.

¹ Заместитель директора ФИЦ «Информатика и управление» РАН, академик РАН

В.В. Устинов¹

Спинтроника и перспективы создания на ее основе элементной базы современной электроники

Введение

Правительство Российской Федерации в 2017 году утвердило госпрограмму «Цифровая экономика Российской Федерации». Главной целью этой Программы является «создание экосистемы цифровой экономики России, в которой данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности».

Определены входящие в рамки Программы основные «сквозные цифровые технологии»: «большие данные; нейротехнологии и искусственный интеллект; системы распределенного реестра; квантовые технологии; новые производственные технологии; промышленный интернет; компоненты робототехники и сенсорики; технологии беспроводной связи; технологии виртуальной и дополненной реальностей». Предполагается, что развитие всех вышеперечисленных сквозных цифровых технологий в рамках Программы должно обеспечить «преимущественное использование отечественного программного обеспечения и оборудования».

С использованием цифровых технологий возникают новые требования к коммуникациям, вычислительным мощностям, информационным системам и их компьютерной базе. И если «с использованием отечественного программного обеспечения» дела в России обстоят более или менее удовлетворительно, то состояние дел с «отечественным оборудованием» и, в частности, с элементной базой отечественной микро- наноэлектроники, весьма далеко от необходимого уровня.

Сегодня ситуация с обеспечением прогресса в развитии элементной базы микро- и наноэлектроники осложняется еще и тем, что в глобальном масштабе развитие традиционной полупроводниковой микроэлектроники по накатанному пути миниатюризации компонент ее элементной базы подошло к естественному пределу.

Согласно известному эмпирическому закону Мура, число полупроводниковых транзисторов на единице площади электронного чипа удваивается каждые 2 года. Соответственно уменьшается характерный размер элементов интегральных микросхем. Если в конце 80-х годов прошлого века компания Intel производила электронные чипы по технологической норме 1000 нанометров (1 микрон), то сегодня Intel освоила технологическую норму 14 нанометров, на очереди элементы размером 10 нм и планируется уменьшить их в самом ближайшем будущем до 5 нм. Этот размер уже близок к расстоянию между атомами в используемых материалах и поэтому специалисты констатируют наступление неизбежного «конца эпохи закона Мура».

¹ Научный руководитель Института физики металлов им. М.М. Михеева УрО РАН, академик РАН

В сложившихся условиях именно спинтроника с ее принципиально новыми подходами к созданию элементной базы современной нанoeлектроники и управлению электронным транспортом на основе квантовых технологий имеет блестящую перспективу стать основным трендом и реальной базой развития электроники следующего поколения.

Начала «металлической» спинтроники

Спинтроника и электроника – слова одного корня, из которого произрастают эти две ветви науки об электронных транспортных явлениях в проводящих конденсированных средах. В отличие от электроники, которая имеет дело с транспортными явлениями, обусловленными наличием у электронов проводимости электрического заряда, спинтроника имеет в своей основе кинетические явления, связанные с существованием у электронов собственного механического момента – спина и, как следствие, собственного магнитного момента.

Носители заряда подвержены действию электрического поля. Это воздействие является управляющим фактором всех электрических приборов и устройств, тогда как частицы со спином, участвующие в транспортных процессах, через свой магнитный момент «чувствуют» магнитное поле – и это дает новые и весьма эффективные возможности магнитного управления электронным транспортом, которые и реализуются в технических устройствах спинтроники.

Электроника и ее современные ветви – микро- и нанoeлектроника достигли к настоящему времени впечатляющих успехов, будучи основаны, главным образом, на полупроводниковых материалах для создания самых разнообразных приборов и устройств. Полупроводниковая микроэлектроника без преувеличения является одним из основополагающих технологических элементов человеческой цивилизации. С некой долей условности датой рождения полупроводниковой электроники можно назвать 1948-й год, когда физики из *Bell Laboratory* представили миру первый транзистор.

Спинтроника же зародилась и активно развивалась, главным образом, на основе металлических наноструктур. По крайней мере, это утверждение справедливо по отношению к практически реализованным спинтронным устройствам и приборам на их основе. В 1986-м году П. Грюнберг с соавторами в работе [1] сообщили о том, что ими выращены металлические сверхрешетки Fe/Cr, содержащие нанотолщинные слои ферромагнитного железа (Fe), обменное взаимодействие которых через тонкие неферромагнитные слои хрома (Cr) приводит к взаимно антипараллельному упорядочению намагниченностей ферромагнитных слоев Fe. В 1988 году П. Грюнберг подал заявки на патентование в США, Японии, Германии и в Европейском патентном офисе своего изобретения – магниторезистивного сенсора магнитного поля на основе двух ферромагнитных слоев с антипараллельно направленными магнитными моментами (дата приоритета этих патентов [2-5] – 16 июня 1988 года).

При описании существа патентов П. Грюнберг предельно ясно назвал физическую причину обнаруженной им зависимости электросопротивления наноструктуры, содержащей несколько ферромагнитных слоев, от взаимной ориентации магнитных моментов этих слоев (спин-зависящее рассеяние электронов проводимости на границах раздела слоев с различным типом магнитного упорядочения).

Позднее, в 1989-м году Грюнберг опубликовал более подробную статью [6] об «усиленном» магнитосопротивлении слоистых магнитных структур с «антиферромагнитным» взаимодействием ферромагнитных слоев (дата поступления статьи в редакцию PRB – 31 мая 1988 года).

В 1988 году была опубликована статья Альберта Ферта с соавторами [7] (дата поступления статьи в редакцию PRL – 24 августа 1988 года), в которой авторы сообщили о наблюдении в выращенных ими сверхрешетках Fe/Cr эффекта с названием «гигантское магнитосопротивление» магнитных сверхрешеток. Физической причиной «гигантского магнитосопротивления» в работе [7] была названа спиновая зависимость процессов прохождения электронов проводимости между слоями Fe сквозь прослойку Cr. Термин «гигантское магнитосопротивление» получил впоследствии широкое распространение, а Ферт и П. Грюнберг были удостоены в 2007 году Нобелевской премии по физике «за открытие гигантского магнитосопротивления».

Становление «металлической» спинтроники

Публикации А. Ферта и П. Грюнберга по гигантскому магнитосопротивлению послужили своего рода катализатором появления огромного количества работ по всему миру, посвященных изучению спинового электронного транспорта и связанных с ним явлений в проводящих магнетиках и магнитных наноструктурах.

На рис. 1 приведены данные о числе публикаций по всему миру, посвященных спин-транспортным явлениям. Это дает представление о постоянно растущем вплоть до настоящего времени интересе к явлениям спинтроники. Сам же термин «спинтроника», которым обозначается «спиновая электроника», был введен в лексикон физиков Стюартом Вольфом (Университет Вирджиния) лишь в 1996 г.

В результате этих интенсивных исследований были обнаружены и изучены новые спин-транспортные эффекты: спиновый эффект Холла (прямой и обратный), квантовый спиновый эффект Холла, гигантский спиновый эффект Зеебека, спиновый эффект Нернста, эффект передачи спинового момента, эффект спин-зависящего туннелирования, магнитоспиновый эффект в химических реакциях и др.

Были предложены схемы построения новых приборов и устройств спинтроники, среди которых: спиновый мазер, спиновый светоизлучающий диод, спиновый транзистор, спин-трансферный осциллятор, спиновый логический вентиль на квантовых точках и др.

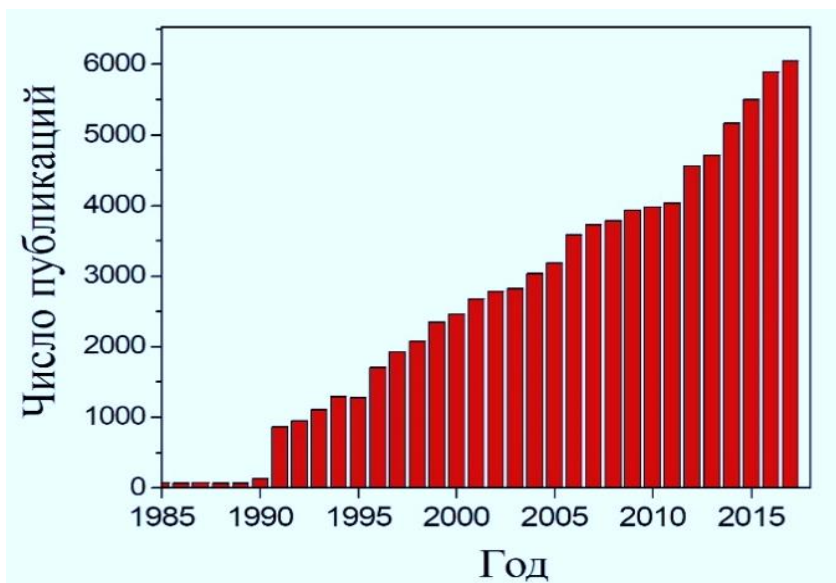


Рис. 1. Динамика общемирового числа публикаций по спинтронике (по данным базы Web of Science)

В настоящем материале не ставится задача дать анализ развития и описать прогресс всех направлений фундаментальных исследований в области спинтроники. Мы ограничимся лишь рассмотрением двух самых ярких страниц спинтроники, связанных с практическим применением уже полученных результатов и результатов, получение которых ожидается в ближайшем будущем.

Возвращаясь к первым работам по гигантскому магнетосопротивлению, заметим, что П. Грюнбергом в 1988 году фактически была запатентована конструкция базового элемента спинтроники, который впоследствии получил название «спиновый клапан».

П. Грюнберг ясно обозначил главное направление практического применения предложенного им магниторезистивного сенсора: использовать многослойные магнитные наногетероструктуры типа «спиновый клапан» в считывающих головках устройств хранения информации на магнитных носителях (рис. 2, 3). С использованием эффекта гигантского магнетосопротивления в конце 1990-х годов удалось резко увеличить емкость накопителей на жестких магнитных дисках. В настоящее время большинство производителей жестких магнитных дисков используют головки записи/считывания информации, основанные на эффекте гигантского магнетосопротивления. Использование патентов П. Грюнберга с приоритетом от 16.06.1988 ведущими фирмами-производителями считывающих магнитных головок обеспечивает лицензионные платежи в пользу Института физики твердого тела в Юлихе, в котором работал П. Грюнберг, исчисляемые десятками миллионов евро.

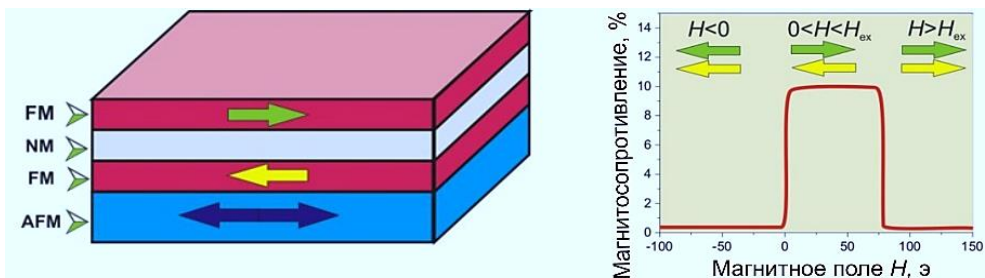


Рис. 2. Схема спинового клапана, магнитосопротивление которого зависит от взаимной ориентации намагниченностей ферромагнитных слоев FM, разделенных немагнитной прослойкой NM.

Направление намагниченности одного из ферромагнитных слоев FM, называемого «закрепленным», удерживается в слабых внешних магнитных полях $0 < H < H_{ex}$ соседствующим слоем антиферромагнетика AFM, тогда как второй слой FM свободно меняет ориентацию намагниченности. При антипараллельном упорядочении FM-слоев электросопротивление спинового клапана максимально, а при параллельном упорядочении, которое реализуется с увеличением магнитного поля до значений, превышающих «удерживающее» обменное поле H_{ex} антиферромагнетика, – минимально.

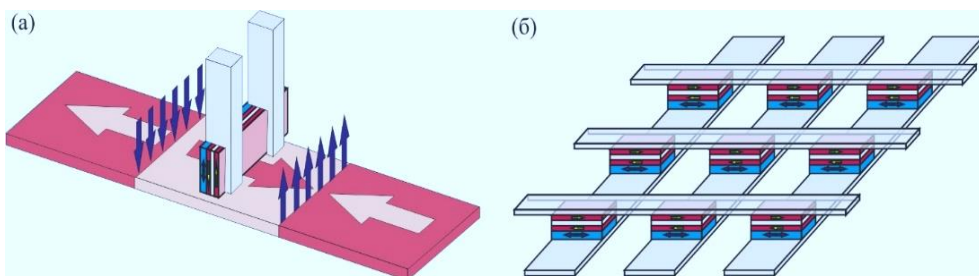


Рис. 3. Схема использования спинового клапана в считывающих головках устройств хранения информации на магнитных носителях как сенсора магнитных полей, возникающих на границах магнитных доменов, которыми закодирована хранимая информация (а). Схема использования спиновых клапанов туннельного типа как ячеек магнитной оперативной памяти MRAM (Magnetic Random Access Memory). Изменение взаимной ориентации намагниченностей ферромагнитных слоев от антипараллельной (логическое состояние «0») к параллельной (логическое состояние «1») осуществляется при пропускании электрического тока через туннельный спиновый клапан за счет эффекта передачи спинового момента от электронов проводимости, поляризованных по спину в «закрепленном» ферромагнитном слое, в «свободный» ферромагнитный слой (б)

Применение магниторезистивных сенсоров на эффекте гигантского магнитосопротивления отнюдь не ограничивается их использованием в магнитных головках считывания информации. Магниторезистивные сенсоры могут служить основой для создания датчиков, индикаторов и измерителей индукции магнитного поля, направления магнитного поля, электрического тока, положения, линейного перемещения, углового смещения, наклона, скорости вращения, ускорения, механической деформации, расхода и других величин.

На их базе могут быть созданы эффективные устройства и приборы: элементы магнитной памяти, магнитометры, магнитные дефектоскопы, измерители тока, счетчики электроэнергии, системы охранной сигнализации, системы учета и контроля, компасы, спидометры, системы наведения. Магниторезистивные датчики положения, наклона, линейного и углового перемещений могут найти эффективное применение в сенсорике для робототехники, которая обозначена как одна из «сквозных технологий» принятой программы цифровизации.

Здесь мы остановимся только на одном перспективном применении специального вида магниторезистивных наноструктур для создания элементов оперативной магнитной памяти – Magnetic Random Access Memory (MRAM). Речь пойдет о наноструктурах, в которых два ферромагнитных слоя разделены очень тонкой прослойкой диэлектрика, толщина которой мала настолько, что через всю наноструктуру может протекать электрический ток за счет туннельного эффекта. Магнитосопротивление такого магнитного туннельного перехода – «туннельное магнитосопротивление» – может иметь еще большие значения, чем гигантское магнитосопротивление описанных выше металлических спиновых клапанов, в которых электрический ток течет в плоскости слоев наноструктуры.

Физический механизм возникновения «туннельного магнитосопротивления» – зависимость вероятности туннелирования электрона из одного ферромагнитного слоя в другой от спинового состояния электрона. Замечательной особенностью таких туннельных магнитных переходов является возможность управления намагниченностями ферромагнитных слоев с помощью электрических токов достаточно высокой плотности, которые пропускаются через переход.

Здесь начинает проявлять себя еще один замечательный спиновый эффект: эффект передачи вращательного момента (спина) от электронов проводимости, поляризованных в одном ферромагнитном слое, в спиновую систему другого ферромагнитного слоя, что ведет к изменению направления намагниченности этого слоя.

Схема магнитной памяти MRAM на основе магнитных туннельных переходов, состоянием которых можно управлять с помощью импульсов электрического тока, представлена на рис. 4.

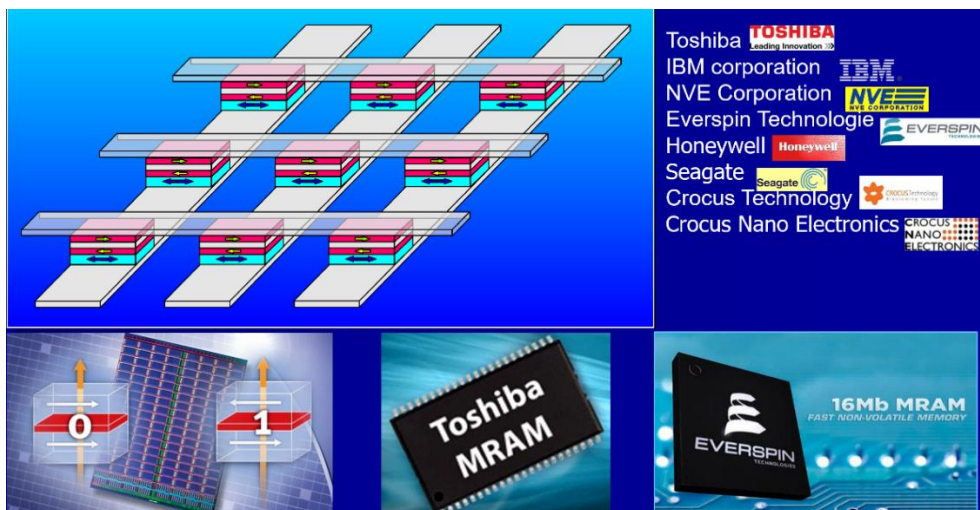


Рис. 4. Схема магнитной памяти MRAM на основе магнитных туннельных переходов, состоянием которых можно управлять с помощью импульсов электрического тока

Спинтроника за рубежом

О масштабах исследований в области спинтроники, развернутых во всех развитых странах мира, может дать нижеприведенный перечень исследовательских проектов по фундаментальным проблемам и приложениям спинтроники. Среди них – проекты отдельных университетов и их консорциумов с промышленными партнерами, проекты национальные и проекты международного масштаба. Перечень представлен в хронологическом порядке для демонстрации растущего интереса к спинтронике как драйверу развития современной нанoeлектроники. По каждому из проектов указан год начала работы, направление исследований, объект и размер финансирования.

2000 г. Университет Буффало получил 10 миллионов долларов на разработку специальных ферромагнитных материалов для использования в спинтронике.

2007 г. Университет штата Делавэр получил от Министерства энергетики США 1,9 млн. долларов на создание нового центра по спинтронике и биодетекции. Этот исследовательский грант является частью гранта в размере 7,5 млн. долларов, выделяемого университетам в четырех штатах (Делавэр, Кентукки, Мэн и Нью-Гемпшир) в рамках программы Министерства энергетики США по стимулированию конкурентных исследований.

2008 г. Университет штата Огайо открывает новый исследовательский центр по спинтронике. Обеспеченный финансированием в 11 миллионов долларов США из средств Национального научного фонда, новый исследовательский центр по спинтронике государственного университета

Огайо будет работать над созданием высокотехнологичной электроники следующего поколения.

2008 г. Компания Grandis объявила о выделении ей финансирования в объеме 6,0 млн. долларов США от Агентства перспективных исследовательских проектов в области обороны (DARPA) на начальный этап исследований по разработке микросхем оперативной магнитной памяти на основе эффекта передачи вращательного момента (STT-MRAM). Общая стоимость этих работ по оперативной магнитной памяти, если все этапы программы будут завершены, может составить до 14,7 млн. долларов за четыре года. Программа будет реализована в рамках тесного сотрудничества между компанией Grandis и университетами Вирджинии и Алабамы.

2009 г. Франция запускает широкомасштабный проект в области спинтроники стоимостью 4,2 млн. евро, в реализации которого будут участвовать 11 партнеров. Французское национальное исследовательское агентство (ANR) объявило о поддержке проекта SPIN (SPintronics for Innovative Nanotechnologies), целью которого является демонстрация преимуществ и конкурентоспособности устройств нового поколения на основе гибридных микросхем, в которых в одном чипе объединены новейшие элементы металлической спинтроники и элементы традиционной полупроводниковой CMOS технологии.

2009 г. Британские исследователи (University of Surrey) получили грант в размере 430 000 фунтов стерлингов (около 700 тыс. долларов США) на разработку кремниевых структур для полупроводниковой спинтроники. Грант выделен Научно-исследовательским советом по инженерным и физическим наукам Великобритании и Национальным научным фондом Китая.

2009 г. Университет штата Северная Каролина получил трехлетний грант в размере 1,2 млн. долларов США от Центра химических инноваций Национального научного фонда (NSF-CCI) для проведения исследований в бурно развивающейся области молекулярной спинтроники.

2010 г. Университет Калифорнии в Лос-Анжелесе получил от Агентства перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)) грант в размере 8,4 млн. долларов на исследования в области технологий создания устройств спиновой логики со сверхнизким энергопотреблением.

2010 г. Императорскому колледжу в Лондоне выделено 2,8 млн. евро для работ в области спинтроники с целью разработки новых нанотехнологий хранения информации большого объема.

2011 г. Национальный научный фонд (NSF) предоставил исследователям из Калифорнийского университета в Риверсайде грант на реализацию четырехлетнего исследовательского проекта на сумму 1,85 млн. долларов США по созданию спиновой памяти. Исследователи работают над созданием спинового транзистора, который будет служить основным элементом новой

технологии – аналогично роли полупроводникового транзистора в традиционной электронике.

2011 г. Национальный научный фонд (NSF) выделил грант в 1,5 млн. долларов США на 4 года на исследования Университета Вирджинии в области интегральных микросхем, использующих спинтроннику и стрейнтроннику.

2011 г. Европейский исследовательский совет выделил 1,3 миллиона евро испанскому проекту SPINTROS, который будет реализован в новом исследовательском центре нанотехнологий в Стране Басков, Испания (Nanoscience Cooperative Research Center – CIC Nanogune). Проект SPINTROS (спиновый транспорт в органических полупроводниках) направлен на изучение новых материалов и их функциональных свойств с целью разработки, проектирования и изготовления новых электронных одномолекулярных устройств нанометрического масштаба.

2011 г. Университет штата Юта объявил о создании нового центра фундаментальных исследований стоимостью 21,5 млн. долл. США, нацеленного на «материалы нового поколения для плазмоники и спинтронники». Новый «Центр превосходства в исследованиях материалов и инновациях» («Center of Excellence in Materials Research and Innovation») будет финансироваться Национальным научным фондом (12,5 млн. долл.), инициативной программой штата Юта по научным технологиям и исследованиям (6,5 млн. долл.) и Университетом Юты (3 млн. долл.).

2012 г. Университет Твенте (Нидерланды) получил грант в размере 1,5 млн. евро от Европейского исследовательского совета на финансирование работ по «органической спинтронике» – спинтронике с использованием органических материалов.

2013 г. Создан новый междууниверситетский исследовательский инновационный «Центр материалов, интерфейсов и новых архитектур спинтронники» (The Center for Spintronic Materials, Interfaces, and Novel Architectures (C-SPIN)). C-SPIN финансируется за счет пятилетнего гранта в размере 28 миллионов долларов, выделенного Корпорацией исследований полупроводников и Агентством перспективных исследований в области обороны (DARPA). Целью центра C-SPIN является разработка спиновых технологий для вычислительных систем и систем памяти. Области исследований C-SPIN включают в себя магнитные материалы для перпендикулярной записи, материалы для спинтронники (включая топологические изоляторы и графен), разработку спинтронных интерфейсов и спиновых устройств. Партнерами университета являются: Университет Миннесоты, Университет Карнеги-Меллона, Университет Корнелла, Массачусетский технологический институт, Университет Джона Хопкинса и Калифорнийский университет в Риверсайде. Индустриальные партнеры – IBM, Intel, Texas Instruments и Micron.

2015 г. Сингапурский национальный исследовательский фонд (NRF) объявил о создании нового фонда в размере 3,7 млн. долларов США для поддержки сотрудничества в области спинтронники индустриального сектора с исследовательскими институтами в Сингапуре. Национальный университет

Сингапура совместно с Технологическим университетом Наньянга создали новый консорциум – Сингапурский консорциум спинтроники (Singapore Spintronics Consortium (SG-SPIN)) с целью поощрения совместных научных исследований между промышленностью и научным сообществом. Новый фонд в размере 3,7 млн. долларов будет поддерживать существующие и новые проекты консорциума SG-SPIN. Текущие проекты, выполняемые членами SG-SPIN, оцениваемые в 39 млн. долларов, включают проекты по увеличению скорости обработки и емкости хранения данных в компьютерах, повышению энергоэффективности электронных гаджетов и разработке новых устройств со сверхнизким энергопотреблением.

2015 г. Национальный научный фонд (NSF) выделил «молодежный» грант в размере 500 000 долларов США на поддержку исследований в области спинтроники, проводимых одним молодым ученым из Университета Алабамы.

2016 г. Университет штата Делавэр получил от Департамента энергетики США 1,9 млн. долларов на создание нового Центра спинтроники и биодетекции. Исследовательский грант Университета штата Делавэр является частью гранта в размере 7,5 млн. долларов США, выделенного университетам четырех штатов – Делавэра, Кентукки, Мэн и Нью-Гемпшира – экспериментальной программой Департамента энергетики США по стимулированию конкурентных исследований (EPSCoR).

2016 г. Британский совет по инженерным и физическим наукам профинансировал проект «Суперспин» (SuperSpin) по спинтронике стоимостью 2,7 миллиона фунтов стерлингов под руководством Кембриджского университета. Целью проекта является разработка прототипа сверхпроводящих устройств спинтроники для энергоэффективных суперкомпьютерных приложений. SuperSpin – это пятилетний проект, в котором будут исследоваться способы транспортировки спина и управления магнетизмом с использованием сверхпроводящего состояния вещества.

2017 г. В Германии создан новый исследовательский центр по изучению спинтроники с использованием графена и других 2D материалов на базе Рейнско-Вестфальского технического университета Аахена. Центр является участником флагманского проекта Евросоюза «Графен» стоимостью 1 млрд. долларов. Новый центр будет заниматься разработкой технологий будущего, включая высокочастотную электронику, энергоэффективную сенсорную, фотонику и спинтронику.

2018 г. Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) и его партнеры по американскому консорциуму по исследованиям в области нанoeлектроники (USA Nanoelectronic Computing Research (nCORE) consortium) выделили 10,3 млн. долларов на создание исследовательского центра спинтроники в Миннесоте. Центр спинтронных материалов в передовых информационных технологиях (Center for Spintronic Materials in Advanced Information Technologies (SMART)) будет размещаться в Университете штата Миннесота, в котором будут работать исследователи из Массачусетского технологического института, Университета штата Пенсильвания, Джорджтаунского университета и Университета Мэриленда.

Размах исследовательских работ в области спинтроники, разворачивающихся во всех развитых странах мира, впечатляет. Созданы и успешно работают более десяти новых мощных центров исследований по спинтронике:

США:

- Центр спинтроники материалов, интерфейсов и новой архитектуры C – SPIN (Center for Spintronics Material, Interfaces, and Novel Architectures) – Миннесота;

- Центр спинтроники и квантовых вычислений CSQC (Center for Spintronics and Quantum Computation) – Калифорния;

- Центр спиновых эффектов и квантовой информации в наноструктурах CSEQuIN (Center for Spin Effects and Quantum Information in Nanostructures) – Буффало;

- Центр по спинтронике и биодетекции CSB (Center for Spintronics and Biodetection) – Делавэр;

- Центр спинтронных материалов в передовых информационных технологиях SMART (Center for Spintronic Materials in Advanced Information Technologies) – Миннесота.

Франция:

- Центр спинтроники и технологии компонент SPINTEC (Spintronics and Technology of Components) – Гренобль.

Испания:

- Исследовательский центр нанотехнологий CIC Nanogune (Nanoscience Cooperative Research Center) – Сан-Себастьян.

Япония:

- Центр спинтроники интегрированных систем CSIS (Center for Spintronics Integrated Systems) – Сендай;

- Четыре Центра сети исследований по спинтронике CSRN (Centers for Spintronics Research Network) – Токио, Сендай, Осака, Кейо.

Показательно просуммировать затраты на выполнение проектов фундаментальных исследований в области спинтроники во всех развитых странах только по всем вышеперечисленным проектам. Эта сумма составляет 168,65 миллионов долларов.

Следует отметить, что эта сумма – только верхушка айсберга. Огромные средства в развитие прикладной спинтроники вкладывают ведущие hi-tech компании – производители элементной базы микроэлектроники.

Компания *EverSpin* – разработчик и производитель оперативной магнитной памяти (MRAM), входит в число мировых лидеров по исследованиям в области магнитной памяти.

Фирма *Freescale* стала в 2006 году первой компанией, предложившей коммерческие модули MRAM объемом 4 Мбит.

Компания *Grandis*, основанная в 2002 году в Силиконовой долине, штат Калифорния, разрабатывает технологии оперативной памяти MRAM на основе эффекта передачи спинового момента (STT-MRAM).

Intel поддерживает исследования по спинтронике в университетах. В 2006 году *Intel* выделила 12 миллионов долларов на оплату труда исследователей и оборудование нескольким калифорнийским университетам.

NVE corporation разрабатывает и продает устройства (разного рода сенсоры и датчики), построенные на принципах спинтроники.

Crocus Technology также разрабатывает технологии MRAM, однако в последние годы главным направлением работ стали магнитные датчики.

Финская *Spindeco Technologies* разрабатывает оригинальные электронные технологии, основанные на использовании спиновой поляризации электронов проводимости.

Спинтроника в России

Россия имеет существенный задел по фундаментальным исследованиям спин-зависящих явлений в проводящих материалах.

В первую очередь, следует указать на работы научной школы академика Б.П. Захарчени (Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН) по исследованию явления оптической спиновой ориентации в полупроводниках. В этих работах показано, что может наблюдаться генерация спин-поляризованных электронов циркулярно-поляризованным светом, передающим угловой момент в спиновую систему электронов проводимости [8], а также идеи Б.П. Захарчени по интегрированию магнетизма в полупроводниковую электронику [9].

Значительный вклад в исследования спинового электронного транспорта в магнитных металлических наноструктурах был внесен научной школой академика В.В. Устинова (Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН). Ее первые работы по спиновым эффектам в металлах (см. обзор [10]) были выполнены еще до 1986 года. Первая в России работа по синтезу магнитных металлических наноструктур с гигантским магнитосопротивлением методом молекулярно-лучевой эпитаксии датируется 1996 годом [11]. Практически значимым результатом проведенных в ИФМ УрО РАН фундаментальных исследований и технологических разработок стали патенты РФ на магниторезистивный датчик магнитного поля [12] и спиновый мазер [13]. Синтезированные в Институте физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН магнитные металлические наноструктуры по своим функциональным характеристикам не уступают зарубежным аналогам.

За цикл работ «Спиновые явления в полупроводниковых, металлических и магнитных наноструктурах» коллектив авторов в составе: В.В. Устинов, И.А. Меркулов и Ю.Г. Кусраев был удостоен премии имени А.Ф. Иоффе РАН.

В настоящее время работы по изучению спиновых явлений активно ведутся в ряде учреждений: Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург); Институте физики металлов имени М.Н. Михеева (Екатеринбург); Институте физики микроструктур (Нижегород); Институте физики имени Л.В. Киренского (Красноярск); Институте радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова (Москва); Казанском физико-техническом институте имени В.К. Завойского; Московском физико-

техническом институте; Уральском и Дальневосточном федеральных университетах.

Что же касается организации исследований по спинтронике в рамках всей страны, то можно констатировать крайне недостаточный уровень их финансовой поддержки со стороны государства. Так, характерная величина финансирования проекта программы исследований по спинтронике, реализуемой Отделением физических наук РАН, на два порядка величины меньше гранта на поддержку карьеры одного молодого ученого из университета Алабамы.

Заключение

Спинтроника – это важнейшая компонента сквозных цифровых технологий программы «Цифровая экономика РФ», прямо и непосредственно относящаяся к разделу «квантовые технологии». Широкое развитие в России исследований по спинтронике, нацеленное на создание перспективных технологий производства элементной базы современной квантовой электроники, приборов и устройств цифровой обработки информации – насущная задача для России.

РАН могла бы стать инициатором Национального мегапроекта по широкому развертыванию фундаментальных исследований в области спинтроники, ориентированных на создание технологий элементной базы современной квантовой электроники. Возможные организационные формы Национального мегапроекта: создание двух Центров технологического превосходства – одного в Екатеринбурге (тематика – магнитная сенсорика), другого – и Москве (тематика – магнитная память), а также сети Центров фундаментальных исследований спинтроники (в городах Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Казань, Нижний Новгород, Красноярск и Владивосток). Целесообразность создания центра превосходства в области магнетизма в Екатеринбурге была подчеркнута в решении форсайт-сессии «Магнетизм XXI века: физика, материалы, технологии», состоявшейся в Екатеринбурге в декабре 2016 года и собравшей представителей всех научных организаций России, вовлеченных в исследования по магнетизму.

Концентрация усилий отечественного научного сообщества на прорывных направлениях, одно из которых, несомненно, – спинтроника, это залог успеха в обеспечении технологического рывка России в будущий мир высоких технологий.

Литература

1. P. Grunberg, R. Schreiber, Y. Pang, M. B. Brodsky, and H. Sowers. Layered Magnetic Structures: Evidence for Antiferromagnetic Coupling of Fe Layers across Cr Interlayers. *Phys. Rev. Lett.* 1986, V. 57, P. 2442-2445.
2. P. Grunberg. Magnetic field sensor with ferromagnetic thin layers having magnetically antiparallel polarized components. United States Patent US4949039A. Priority date 1988-06-16.
3. P. Grunberg. Magnetic field sensor with a thin ferromagnetic layer. European Patent EP0346817B1. Priority date 1988-06-16.

4. P. Grunberg. Magnetic field sensor having a ferromagnetic thin layer. Germany Patent DE58908553D1. Priority date 1988-06-16.
5. P. Grunberg. Magnetic field sensor having a ferromagnetic thin film. Japan Patent JP2651015B2. Priority date 1988-06-16.
6. G. Binasch, P. Grunberg, F. Saurenbach, and W. Zinn. Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange. *Phys. Rev. B*, 1989, V.39, No. 7, P.4228-4230. Received 1988-05-31.
7. M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas. Giant Magnetoresistance of (001) Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices. *Phys. Rev. Lett.* 1988, V. 61, P. 2472-2475. Received 1988-08-24.
8. F. Meier, B.P. Zakharchenya (Eds). *Optical Orientation. Modern Problems in Condensed Matter Sci.*, V. 8 (Amsterdam: NorthHolland, 1984).
9. Захарченя Б.П., Коренев В.Л. Интегрируя магнетизм в полупроводниковую электронику. *Успехи физических наук*. 2005, Т.175, №6, С.630-635.
10. V.V. Ustinov. Conduction electron surface spin-flip scattering and resonance phenomena in metals. *Soviet Scientific Reviews A, Physics Reviews*, 1986, V.7, P.227-312.
11. V.V. Ustinov, N.G. Bebenin, L.N. Romashev, V.I. Minin, M.A. Milyaev, A.R. Del, and A.V. Semerikov. Magnetoresistance and magnetization of Fe/Cr (001) superlattices with noncollinear magnetic ordering. *Phys. Rev. B*, 1996, V. 54, 15958.
12. Устинов В.В., Ромашев Л.Н., Ювченко А.А., Васьковский В.О., Турицын А.Н. Магниторезистивный датчик. Государственный реестр изобретений Российской Федерации. Патент на изобретение № 2316078, зарегистрирован 27.01.2008
13. Виглин Н.А., Устинов В.В. Твердотельный мазер на электронах проводимости. Государственный реестр изобретений Российской Федерации. Патент на изобретение №2351045, зарегистрирован 27.03.2009.
14. Милаев М.А., Наумова Л.И., Устинов В.В. Обменно-связанные сверхрешетки с рекордным магнитосопротивлением // *Физика металлов и металловедение*, 2018. Т. 119, С. 1224-1228.



П Р И О Р И Т Е Т

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Связанность территории российской федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики»



Председатель Совета по приоритету –
академик РАН ПОГОСЯН М.А.

Д.Н. Кобылкин¹

Выступление Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Для меня большая честь сегодня находиться в этом зале. Прежде всего, позвольте от Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации выразить слова благодарности за совместную и эффективную деятельность государственной значимости. Мы по праву гордимся нашим союзом. Великие дела реализуются в сотрудничестве с учеными полярниками, геологами, синоптиками, океанологами, экологами и многими другими представителями российской науки.

Как никогда, сегодня нужна ваша поддержка. Минприроды России с созданием нового департамента в структуре выстраивает системную работу по развитию Арктической зоны России, изучению Мирового океана. Особую роль Арктики для нашей страны неоднократно подчеркивал глава государства в майском Указе. Нашей общей целью является превращение Северного Морского пути в реальную альтернативу для судоходства между Европой и Азией, повышение грузопотока до 80 млн. тонн ежегодно к 2024 г.

Кроме того, внешнеэкономические санкционные обстоятельства последнего времени ориентируют нас на поиск внутренних, прорывных решений, и их базой, безусловно, является российская наука. Сегодня все понимают, что устойчивое развитие и освоение арктических ресурсов возможно только с применением высоких технологий, основанных на глубоком изучении предмета и выверенных результатах исследований.

Для безопасного развития Северного Морского пути необходимы: современная гидрометеорологическая поддержка, комплексное изучение состояния Северного Ледовитого океана и многое другое. Для загрузки Северного морского пути перед нами стоит задача развития минерально-сырьевой базы. Вододоступность запасов требует развития российской геологии, внедрения инновационных методов исследования недр, цифровизации, формирования российского программного обеспечения. Важно идти по пути снижения зависимости предприятий топливно-энергетического комплекса от зарубежных программных продуктов.

Для усиления изучения Мирового океана остро стоит вопрос по разработке прикладных технологий разведки и добычи. Необходимо объединить усилия науки и промышленности для внедрения подводной робототехники. Уверен, работы, связанные с освоением месторождений в глубоководных районах, должны быть увязаны с комплексным изучением стратегического назначения для укрепления обороны и безопасности территории, транспортного и энергетического строительства, науки и техники.

Все вышеуказанные задачи невозможно решить без взаимодействия с учеными, без моделирования будущего совместными усилиями.

¹ Министр природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Министерства и ведомства могут разработать и ждать результатов, но без научного сопровождения все это может остаться не выполнимым.

Я всегда был уверен, что наука идет впереди технологического прогресса.

Со своей стороны, хочу еще раз подтвердить, что Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации всегда открыто для сотрудничества в рамках общего дела на важнейших для нашей страны арктически рубежах.

Уважаемые коллеги! Желаю Общему собранию членов РАН плодотворной работы и новых открытий.

М.А. Погосян¹

Доклад председателя Совета по приоритету: Приоритетные научно-технические задачи в обеспечении связанности территории Российской Федерации

Приоритет, связанный с территорией в рамках Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, так же, как и другие приоритеты, сформулирован очень широко. Это необходимость эффективного освоения и использования пространства, в том числе путем преодоления диспропорций в социально-экономическом развитии территории страны, а также укрепление позиций России в экономической, научной и военной области, освоение космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.

Эта постановка задачи требует координации и объединения большого количества различного рода исследований. И окно возможностей, которое открывается – это цифровые трансформации, интеллектуальные транспортные телекоммуникационные системы и создание международных транспортно-логистических систем.

Надо сказать, что целый ряд проектов, которые сегодня рассматриваются у нас, прямо вписываются в эту задачу. Цель, которая стоит перед нами, заключается в объединении большого количества как фундаментальных, так и прикладных исследований, большого количества задач, решаемых в рамках цифровой трансформации, в комплексную научно-техническую программу, которая позволила бы обеспечить качественно другой уровень освоения нашей огромной территории.

Эта задача очень многопланова и многомерна (рис. 1). И, если говорить про плотность населения нашей страны, то, конечно, радикально отличается решение этой задачи для территорий Центра, Европейской части территории России, юга России, для Сибири и Дальнего Востока.

Ну и, безусловно, параллельно должны быть решены три задачи – это удовлетворение потребностей человека, развитие экономики страны и обеспечение государственных функций. Каким образом увязать это все, мы должны вместе понять в рамках формулирования тех целей и задач, которые перед нами стоят.

Майский указ Президента России говорит о том, что должен быть сформирован комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры до 2024 года. Кроме этого, предусмотрена разработка целого ряда документов, таких как Стратегия пространственного развития. Мы уже говорили о национальном проекте «Наука», цифровой экономике. Собственно, из этих документов должны вытекать те приоритеты, которые связаны с различными типами освоения территории нашей страны.

Если говорить об этих типах, то это глобальная связанность в международный транспортно-логистический коридор, это межрегиональная

¹ Ректор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), академик РАН

связанность со своим большим спектром задач и это внутрирегиональная связанность территорий, которую тоже необходимо решать для различного рода регионов.

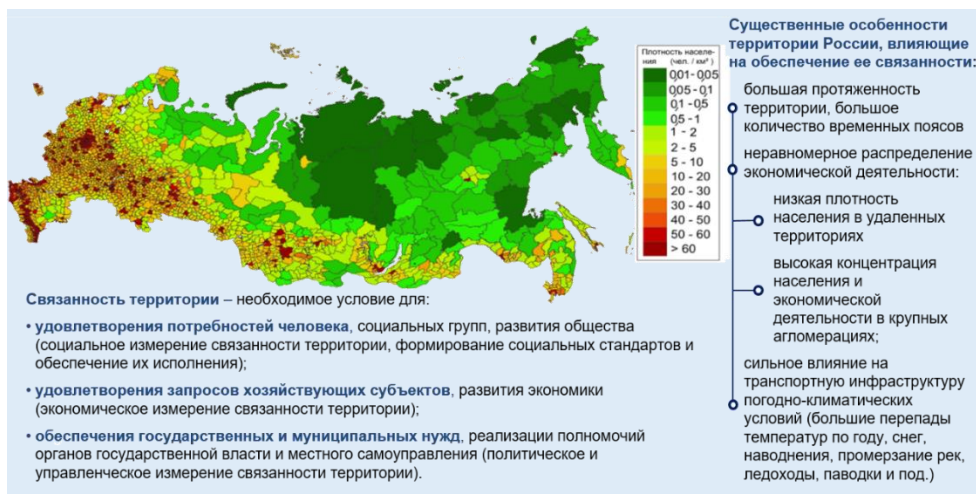


Рис. 1. Связанность территории – качество территории, позволяющее осуществлять своевременное и экономически эффективное перемещение людей, грузов, информации

Говоря о структуре построения комплексной научно-технологической программы, которая должна объединить различного рода исследования для решения поставленной целевой задачи, то сегодня необходимо сосредоточиться, в первую очередь, на том, чтобы выявить актуальные проблемы, сформировать задачи для обеспечения решения этих проблем. Необходимо проанализировать и предложить меры государственной поддержки, которые должны реализовываться, и сформулировать для себя научно-технические задачи, которые лягут в основу комплексных научно-технических проектов и программ, а также комплексных планов научных исследований. Увязать в единую систему большое количество шагов, которые мы предпринимаем, и обеспечить эффективность этих шагов, – вот задача, которая стоит сегодня перед нами.

И, говоря о требованиях к комплексным научно-техническим программам, все время перед нами ставится вопрос эффективности тех исследований, которые мы проводим. Вчера Татьяна Алексеевна Голикова говорила о том, что Правительство глубоко анализирует направления и эффективность этих исследований, влияние их на развитие экономики страны. И, собственно, каким образом та работа, которая сегодня ведется в стенах Российской академии наук, в стенах отраслевых институтов, в индустрии, будет менять облик транспортной инфраструктуры нашей страны.

Из наиболее приоритетных задач можно отметить, прежде всего, комплексное прогнозирование и моделирование. И здесь, безусловно, мы

нацелены на то, чтобы были созданы современные инструменты, которые позволяли бы принимать решения не на основе общих подходов, а на основе детального моделирования и прогнозирования. Как раз коллеги из Совета по цифровой экономике, по интеллектуальным цифровым системам вместе с нами могут подумать, каким образом решать эту задачу.

Вторая важнейшая задача – это транспортные универсальные структуры, это связь информации, навигации. В этом направлении тоже есть большой комплекс специализированных направлений исследований, которые сегодня ведутся: мультимодальные транспортно-логистические системы, общественный транспорт для городских агломераций и др.

Ну и как один из таких важных проектов, с нашей точки зрения, мы рассматриваем программу создания многофункционального модуля для комплексного освоения территорий. Если мы говорим об освоении территории Дальнего Востока, то, безусловно, без создания инфраструктуры, которая будет обеспечивать современный уровень связи, транспорта, современный уровень медицины, современный уровень образования, невозможно говорить о развитии транспортной инфраструктуры на Дальнем Востоке. И это, с нашей точки зрения, большая комплексная задача.

Говоря о таком многофункциональном модуле, мы говорим о том, что его составными частями должны являться и объекты жизнедеятельности, это объекты связи и навигации, это различного рода вопросы, связанные с медицинским обслуживанием, образованием, доступ к культурным объектам.

Ну и важнейшей задачей, конечно, для освоения территорий с низкой плотностью населения является транспортная связанность этих территорий. Поэтому в состав транспортного модуля включаются легкие авиационные комплексы, беспилотные аппараты, различного рода морские и водные средства сообщения и целый ряд старых-новых технологий, таких как дирижабли.

Говоря о комплексном характере связанности территорий, хотел бы сказать, что наряду с задачами связи, навигации, единой информационной среды, она охватывает все виды транспорта, как традиционные, так и новые виды транспорта. Она является одной из наиболее комплексных задач, которые сегодня перед нами стоят.

В рамках тематики нашего Совета предусмотрены доклады моих коллег по развитию и освоению Мирового океана, по освоению Арктики и Антарктики, по развитию и расширению наших позиций с точки зрения освоения космоса. Поэтому я во второй части своего выступления коротко остановлюсь на вопросах развития авиации, воздушного транспорта и тех приоритетах, которые стоят в этом направлении.

Если говорить о тенденциях развития авиационной техники, авиационного транспорта, то они предусматривают устойчивый долгосрочный рост объемов пассажирских перевозок. И планируется, что за ближайшие 20 лет объем и количество коммерческих самолетов, которые будут использоваться в гражданской авиационной технике, увеличится в два раза и достигнет почти 50 тысяч единиц.

Надо сказать, что мировой объем этого бизнеса оценивается сегодня более чем в 15 триллионов долларов. Поэтому, если мы хотим конкурировать на рынке авиационной техники, мы должны создавать конкурентоспособную продукцию. И надо сказать, что конкурентоспособность обеспечивается не только за счет изготовления и производства новой авиационной техники, в большой степени доля рынка определяется рынком сервисов для гражданской авиационной техники.

Еще одним вектором развития гражданской авиационной техники является существенное повышение требований безопасности и существенное ужесточение требований с точки зрения экологического воздействия техники на окружающую среду. Безусловно, сохранение вот на этом высококонкурентном рынке авиационной техники передовых позиций – задача, которую невозможно решить без опережающих научных исследований и разработок.

Говоря о тех проектах, над которыми сегодня работает авиационная индустрия, это, в первую очередь, семейство новых гражданских продуктов.

На рис. 2 в верхней части показан совместный проект, который реализуется с Объединенной авиастроительной китайской корпорацией СОМА, широкофюзеляжного самолета CR 929.

За последние 10 лет произошла революция в точки зрения гражданской авиационной техники, появились принципиально новые летательные аппараты, которые сегодня уже находятся в эксплуатации. Это Боинг-787 и аэробус А-350. Семейства этих самолетов на 60% изготовлены из композиционных материалов, являются более электрическими, и уровень интеллектуализации комплекса бортового оборудования находится на качественно другом уровне.

Проект широкофюзеляжного самолета должен ответить на вызов, будет ли Россия, объединенная с китайской авиационной индустрией, третьим игроком на этом высокотехнологичном рынке гражданской авиационной техники. И это серьезный вызов для нас. Научно-исследовательская часть такого рода проектов является очень значимой.

Сегодня реализуются технологии сверхзвуковой гражданской авиационной техники. Это и большое количество беспилотных летательных аппаратов и систем, которые основаны на использовании такого рода техники для решения самых разных задач. Это: летающие автомобили, которые уже сегодня являются реальностью, дирижабли, скоростной вертолет, конвертоплан (рис. 2).

Если говорить о технологиях, то все технологии сегодня объединены в пять крупных направлений:

- совершенствование аэродинамики и конструкции планера;
- перспективные силовые установки;
- новые материалы;
- перспективные системы бортового оборудования;
- информационная система бортового радиоэлектронного оборудования на основе современных принципов построения.

Перспективные проекты:

- Широкофюзеляжный дальнемагистральный самолёт
- Сверхзвуковой пассажирский самолёт/сверхзвуковой деловой самолет
- Беспилотные системы:
 - БПЛА для исследования энергоэффективности воздушного движения;
 - сверхвысотный БПЛА на солнечных батареях;
 - БПЛА с системой спутниковой навигации.
- Летящий автомобиль
- Дирижабли
- Скоростной вертолет
- Конвертоплан



Рис. 2. Проекты будущего

Вчера в докладах, которые звучали в секции информационных технологий, мой коллега С.Л. Чернышев говорил о задачах, которые решают ЦАГИ, и об отраслевой науке в области совершенствовании аэродинамики. Поэтому я не буду подробно останавливаться на этом. Единственное, скажу о том, что, конечно, новые аэродинамические системы, ламинаризация обтекания, бионический дизайн, анизогридные конструкции, широкое применение композитных конструкций, новые методы проектирования – это то, что сегодня определяет конкурентоспособность на рынке гражданской авиационной техники.

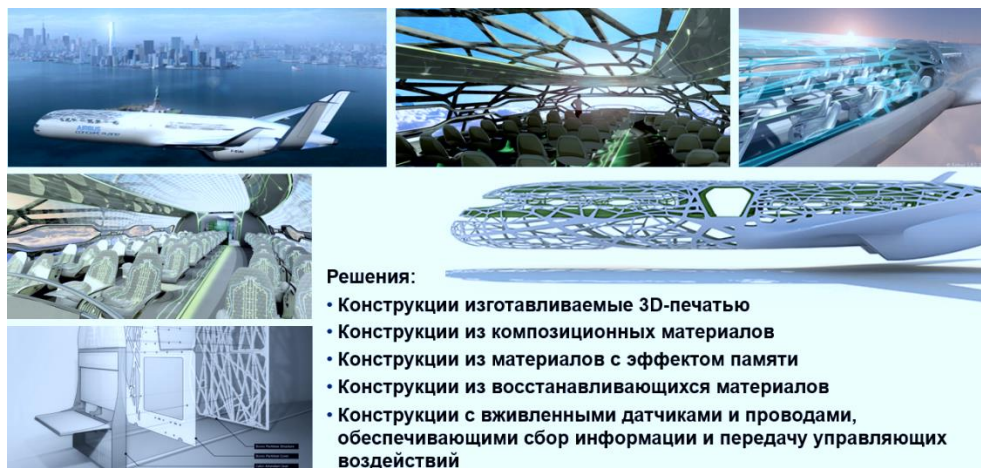


Рис. 3. Бионический дизайн

На рис. 3 показаны будущие конструкции, построенные на принципах бионического дизайна. Создание такого рода конструкций является не далеким будущим. Сегодня уже реально разрабатываются элементы такого рода конструкций. Но задача состоит в том, чтобы от использования этих конструкций в отдельных элементах прийти к комплексному проектированию, и, самое главное, – к сертификации моделирования такого рода конструкций, которые позволят получить качественный скачок с точки зрения эффективности авиационной техники.

Говоря об информационных системах, в структуре авиационных комплексов сегодня, безусловно, радикально выросла роль авионики, сетевой открытой архитектуры бортового оборудования и значительное внедрение методов и способов искусственного интеллекта, которые позволяют трансформировать систему управления в зависимости от решаемых задач.

Постепенно гражданская авиация движется к беспилотным летательным аппаратам, но я думаю, что как первый этап будет реализована одночленная кабина экипажа, где пилот фактически будет оператором, а сами функции управления авиационным комплексом будут выполняться автоматическими системами. Это анализ больших данных и синтезированное и интегрированное видение. Это, наверное, далеко неполный комплекс проблем, который объединяется в данном направлении деятельности.

Сегодня на базе современных методов формируется новая среда проектирования и испытания авиационной техники. Человек-машина объединяются сегодня с совершенно другим уровнем эффективности и с другим уровнем взаимодействия. На рис. 4 показан набор задач, которые решаются методами математического моделирования. Здесь показан пример самолета «Сухой Суперджет-100», где задачи попадания посторонних предметов, задачи безопасного разрушения стоек шасси без повреждения топливных баков, задачи аварийной посадки решены методами математического моделирования.

На рис. 5 показаны расчетные методы и реальные эксперименты. Такого рода подходы на сегодняшний день сертифицированы не только российскими, но и европейскими сертификационными органами. В рамках этих походов велась работа по самолету «Сухой Суперджет-100».

Использование математического моделирования позволяет примерно на 30%, с нашей точки зрения, сократить реальный объем испытаний. Это сплошные научные исследования. Их верификация – важнейшая задача.

Хотел бы сказать, что РАН тесно взаимодействует с индустрией по решению конкретных задач. Задача Совета и сегодняшней Научной сессии заключается в том, как вывести это взаимодействие на качественно другой уровень? Каким образом увязать программу фундаментальных научных исследований, реализуемую РАН, с мероприятиями Государственной программы развития авиационной промышленности, реализуемой Министерством авиационной промышленности, с отраслевыми программами инновационного развития, которые реализует «Ростех», ОАК и рядом других крупных структур, а также с мероприятиями, реализуемыми в рамках НТИ?

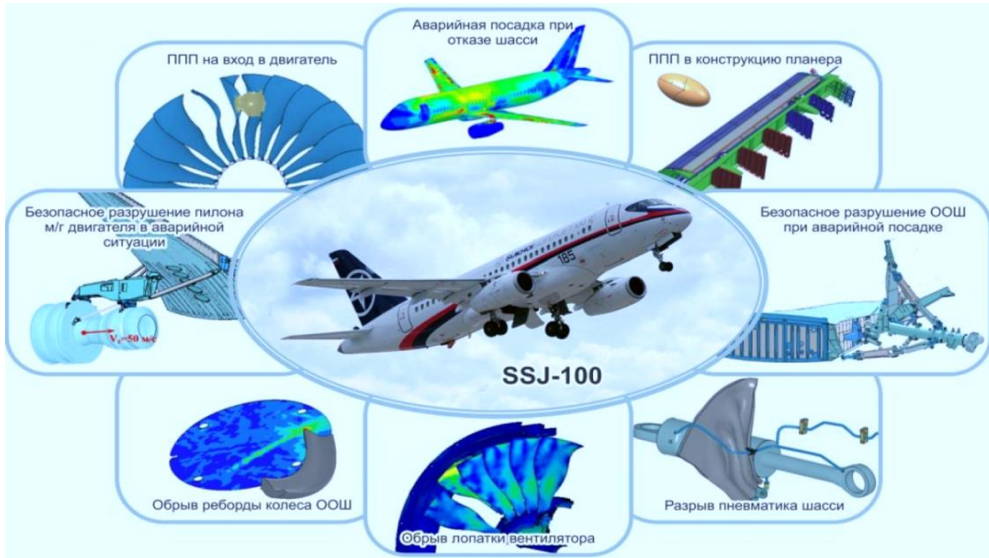


Рис. 4. Математическое моделирование – новая среда проектирования и испытаний авиационной техники



Рис. 5. Примеры математического моделирования

Если нам удастся связать в единую систему тот объем исследований, которые мы проводим в различных направлениях, а также состыковать это с поставленными задачами, то цель нашего Совета станет достижимой.

Введение

Космонавтика, была и остается сферой человеческой деятельности, находящейся на пике научно-технического прогресса. Космическая деятельность (космические исследования и прикладная космонавтика) проникли во все области жизни человечества. Она помогает обеспечивать, в том числе, сохранение связанности территорий таких крупных стран, как Российская Федерация.

Россия, где очень многое связано с космической деятельностью, в силу географического расположения, высокой степени дифференциации территорий, просто обречена быть космической державой. Использование результатов космической деятельности, получаемой от орбитальной группировки социально-экономического, научно-исследовательского и двойного назначения, обеспечивает значительный экономический эффект в том числе по направлениям:

- космическая навигация;
- космическая связь;
- дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ);
- космические исследования, включая развитие технологии создания космической техники.

Эти направления являются ключевыми для сохранения целостности государства и связанности территорий, являются необходимым условием для:

- удовлетворения потребностей человека, социальных групп, развития общества;
- удовлетворения запросов хозяйствующих субъектов, развития экономики;
- обеспечения государственных и муниципальных нужд, реализации полномочий органов государственной власти и местного самоуправления.

Очевидными являются также существенные особенности территории России, влияющие на обеспечение ее связанности, а именно:

- большая протяженность территории, большое количество временных поясов;
- неравномерное распределение экономической деятельности
- высокая концентрация населения и экономической деятельности в крупных агломерациях;
- сильное влияние на транспортную инфраструктуру погодно-климатических условий.

¹ Первый заместитель генерального конструктора, ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева», член-корреспондент РАН

² ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева, к.т.н.

³ ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева, к.т.н.

Можно рассматривать несколько уровней связанности территорий, которые прямо или косвенно обеспечиваются космической деятельностью:

– глобальная связанность на уровне международного взаимодействия и транспортно-логистические коридоры «Север-Юг», «Запад-Восток»;

– межрегиональная связанность, включая:

– макрорегиональная: окраины – центр, окраины – окраины, анклав (Калининград) – центр, анклав – окраины; между соседними регионами со средней и низкой плотностью населения и хозяйственно-экономической деятельности;

– межагломерационная: между крупнейшими агломерациями (Московская, Санкт-Петербургская, Нижегородская, Казанская, Челябинская, Новосибирская и др.);

– Внутрирегиональная связанность агломерации с высокой плотностью населения и концентрацией экономической активности территории с низкой плотностью населения и экономической активности при дефиците (отсутствии) традиционных путей сообщения (периферийные территории субъектов Российской Федерации в европейской части России, Сибирские и Дальневосточные регионы) малонаселенные территории с особым геостратегическим статусом, в том числе – Арктическая зона России.

Состояние и тенденции мировой космонавтики

Мировая космонавтика – это около 1400 работающих космических аппаратов (КА) гражданского и двойного назначения в околоземном пространстве и две орбитальные пилотируемые станции: Международная космическая станция (постоянно действующая) и посещаемая китайская лаборатория «Тянгун-2» (табл. 1).

Таблица 1

Мировая космонавтика

Назначение КА	Всего КА	КА РФ	Доля КА РФ (%)
Навигация	105	26	24,8
Связь	713	32	4,5
Наблюдение Земли (ДЗЗ)	374	8	2,1
Научные исследования	67	1	1,5

Как видно из табл. 1, в Российской орбитальной группировке достаточно значимо представлена навигация. В мировой орбитальной группировке 105 навигационных спутников. Из них на долю Российской Федерации приходится система ГЛОНАСС.

Группировка КА связи составляют около 700 аппаратов, а доля российских КА связи пропорциональна численности населения Российской Федерации. Спутники наблюдения Земли – дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представлены 370 аппаратами, а на нашу страну приходится только 8 спутников этого класса. Процентное отношение доли российских КА ДЗЗ к общему числу этих КА, убедительно показывает, что в области наблюдения

Земли, а это одно из основополагающих направлений для обеспечения связанности территории, мы серьезно отстаем и, к сожалению, ликвидируем это отставание достаточно медленно. Так же, очень слабо представлена Россия в группировке КА научного назначения (1,5%).

Рассматривая текущее состояние мировой космонавтики, и принимая во внимание проекты по созданию КА и анонсированные запуски КА в ближайшей перспективе, можно выделить основные тенденции и перспективы развития космонавтики:

- увеличение числа различных по назначению КА;
- расширение числа стран и организаций, эксплуатирующих КА;
- развитие низкоорбитальных систем связи непосредственного доступа;
- комплексирование различных космических систем (навигация, ДЗЗ, и т.п.) с наземными техническими средствами, приложениями и т.п.;
- обеспечение многократности использования ракет-носителей и КА;
- увеличение количества научных КА и расширение круга космических исследований;
- расширение числа частных компаний производителей космической техники, в том числе и пилотируемых кораблей.

Что касается приоритетных направлений развития космонавтики в Российской Федерации, они изложены в стратегических организационных документах Госкорпорации «Роскосмос» [1, 2].

В целом и космическая связь, и дистанционное зондирование Земли, фундаментальные космические исследования, которые Россия по большей части проводит на Международной космической станции, и перспективные технологии, все эти направления развития космической индустрии позволяют, в целом, обеспечить решение основных задач, заключающихся в обеспечении связанности территории Российской Федерации.

Рассмотрим более подробно основные виды социально-экономической и научной деятельности Российской Федерации в космическом пространстве.

Космическая навигация

В табл. 2 представлены существующие глобальные космические навигационные системы [3, 4].

Таблица 2

Существующие глобальные космические навигационные системы				
Система	Страна	Кол-во КА	КА используются	Состояние системы
ГЛОНАСС	РФ	26	24	Функционирует
NAVSTAR (GPS)	США	32	31	Функционирует
GALILEO	Европа	18	11	Развертывается
BEIDOU	Китай	36	17	Развертывается

Если известные две системы ГЛОНАСС и NAVSTAR (GPS) функционируют в полном составе, то две менее известные системы, Galileo и BEIDOU, Европы и Китая, соответственно, находится в стадии развертывания.

Помимо глобальных навигационных систем в Индии и Японии созданы и функционируют региональные навигационные космические системы. Таким образом, безусловно, Россия находится в числе лидеров создания и применения средств космической навигации.

Основные направления применения космической навигации это: наземный и водный транспорт, обеспечение поиска и спасения терпящих бедствие, авиация, космическая навигация, персональная навигация, геодезия и картография, мониторинг окружающей среды, строительство, сельское хозяйство, системы синхронизации времени, применение в интересах безопасности.

Все больше КА на орбите используют навигационные данные для автономного решения задач высокоточного определения параметров своего движения. В частности, быстрые схемы сближения и стыковки пилотируемых и грузовых кораблей с международной космической станцией возможны, в том числе и благодаря данным космических навигационных систем. Одним словом, это достаточно большая группа направлений деятельности для обеспечения связанности территории Российской Федерации.

Основными мировыми тенденциями развития навигационных технологий в настоящее время являются повышение:

- доступности навигационных данных в условиях сложного рельефа местности и городской застройки;
- помехоустойчивости и имитостойкости радионавигационного сигнала;
- точности и скорости сходимости высокоточных навигационно-временных определений.

Отдельно необходимо отметить весьма многообещающее направление применения навигационных данных, а именно применение их для создания систем управления беспилотных транспортных средств. Комплексование навигационного поля с инерциальными системами навигации, системами технического зрения и иными датчиками в абонентской аппаратуре пользователей, позволит создавать новые и модернизировать существующие транспортные средства, с качественно новым уровнем обеспечения безопасности движения, в том числе в сложных погодных условиях. Нынешние навигационные системы обеспечивают погрешность определения положения порядка 10 метров, а для беспилотного транспорта необходимо иметь погрешность на 2 порядка лучше, то есть около 0,1 м.

В текущей конфигурации система ГЛОНАСС удовлетворяет потребностям в навигационных данных широкого круга пользователей. Однако для ряда задач необходима высокоточная навигация, которая достигается с использованием дифференциального или относительного метода определений. Принцип основывается на вычислении поправки к определению псевдодальности относительно корректирующей станции, чьи координаты определены с заведомо высокой точностью. Для чего необходимы базовые приемники, расположенные в точках с определенными координатами, которые одновременно с приемником потребителя осуществляют синхронный прием данных одних и тех же навигационных КА. Распространение корректирующих

поправок удобно осуществлять при помощи КА на геостационарной орбите, особенно для таких больших регионов как Россия.

Для российской группировки ГЛОНАСС, конечно, первейшая перспектива — это создание нового наземного сегмента и расширение сети корректирующих станций особенно в Южном полушарии. Если в Северном полушарии существует относительно разветвленная сеть корректирующих станций, то в Южном полушарии сеть корректирующих станций необходимо развивать. Необходимо продолжить расширение орбитальной группировки навигационных КА и их совершенствование. Это существенно повысит точность определения положения пользователей.

Важной и приоритетной научно-технической задачей, стоящей перед отечественной космической навигационной системой, является повышение помехоустойчивости и имитостойкости распространения навигационных данных от КА на орбите до приемного навигационного устройства потребителя. Можно говорить, что данная часть или этап распространения данных, наиболее уязвимое место космической навигации, как от случайных воздействий, так и от преднамеренного искажения. В условиях современного мира, который насыщен различными передающими устройствами и характеризуется доступностью подобных средств, данная задача является фактором, определяющим надежность и работоспособность всей системы в целом.

Космическая связь

Космическая связь, особенно для нашей страны, в силу ее территориальных размеров, является особенно востребованной. Сейчас российская орбитальная группировка это порядка 16 КА связи на геостационарных орбитах, 12 КА на низких орбитах, и 3 КА многофункциональной системы ретрансляции «Луч», которые функционирует на геостационарной орбите и достаточно активно работает и в интересах управления Международной космической станции. Все эти КА исправны, достаточно надежно работают, обеспечивают и фиксированную, и подвижную спутниковую связь, радиовещание, телевидение и передачу данных.

Россия производит собственные КА связи, но с большой долей импортных приборов. В современных условиях необходимо самое серьезное внимание обратить на импортозамещение в области аппаратуры полезной нагрузки национальных КА связи.

К числу мировых тенденции развития спутниковой связи следует отнести увеличение пропускной способности КА связи (HTS high-throughput satellite), которое весьма заметно возросло в последнее время. Этому способствует, в том числе и применение многолучевых антенн, с помощью которых формируется веер остронаправленных лучей. Многолучевое формирование зоны покрытия КА связи функционально очень привлекательно, поскольку позволяет принципиально увеличить энергетику радиолинии и соответственно обеспечить высокую пропускную способность, а также появляется возможность повторного использования частот в выделенном диапазоне для

отдельного КА связи. Таким образом, обеспечивается многоплановая связь с помощью одного КА, что дает существенную экономическую составляющую, потому что в противном случае необходимо создать несколько КА.

Развиваются технологии создания гибких полезных нагрузок, в которых существует возможность в течение срока орбитального функционирования КА перераспределять частотно-энергетические ресурсы между лучами в зависимости от текущих потребностей пользователей.

Следующее весьма заметное в последнее время, направление развитие космической связи состоит в создании многоспутниковых систем малых КА на низких околоземных орбитах. Основное преимущество при этом состоит в возможности иметь очень малогабаритную, дешевую и весьма компактную персональную потребительскую аппаратуру для обеспечения связи с КА. В нашей стране сходные задачи предполагается решать в рамках перспективной программы «Сфера».

Перспективы развития спутниковой связи в Российской Федерации совершенно понятны. К 2025 году госкорпорация «Роскосмос» планирует увеличить орбитальную группировку до 41 КА, что позволит увеличить пропускную способность:

- фиксированной связи более чем в 2 раза;
- персональной подвижной связи более чем в 2,5 раза;
- ретрансляции в 4 раза.

Таким образом, интегрально возможности космических систем связи возрастут более чем 2,5 раза и позволят существенно расширить спектр услуг непосредственного телевизионного вещания и телевизионного вещания высокой четкости, широкополосного доступа в Интернет и т.п.

Системы космической связи становится базой для решения задачи цифровой экономики, телемедицины, системы дистанционного образования. Расширение группировки КА на геостационарной орбите и, что очень важно, развертывание КА связи и вещания на высокоэллиптической орбите может быть решена проблема качественного и полноценного телекоммуникационного обеспечения северных и арктических регионов. У нас около 6000 населенных пунктов Российской Федерации в северных и дальневосточных районах из-за особенностей их расположения могут быть связаны только через КА на высокой эллиптической орбите. Это достаточно значительное количество населенных пунктов.

Дистанционное зондирование Земли

Задачи дистанционного зондирования Земли в российской космонавтике в настоящее время выполняют высокодетальный КА «Ресурс-П», КА оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций типа «Канопус-В», КА гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» и геостационарный гидрометеорологический КА «Электро-Л». Все перечисленные КА осуществляют съемку в оптическом диапазоне спектра. Российские радиолокационные КА в настоящее время на орбите отсутствуют. Таким образом, российская группировка КА ДЗЗ на фоне

других стран, имеет очевидные предпосылки для наращивания своей численности.

В современном информационном обществе значимость и потребность в актуальных данных ДЗЗ постоянно увеличивается. Число задач, в которых применяются эти данные неуклонно возрастает, в основном за счет геоинформационных систем и приложений пользователей негосударственного сектора. И подобная тенденция оказывает наибольшее влияние на развитие космических средств ДЗЗ.

Основная общемировая тенденция развития космических систем ДЗЗ состоит в повышении оперативности получения информации. И единственный действенный способ в этом случае состоит в увеличении числа КА на орбите в составе группировки. Появляются и реализуются проекты космических систем ДЗЗ, обеспечивающих ежедневный или даже непрерывный режим съемки территории Земли.

Новые современные данные более детальные и соответственно больше в объеме. Поэтому активное распространение получают облачные технологии хранения и обработки этих данных в интересах конечных потребителей. Необходимо отметить, что собственно данные ДЗЗ именно выступают в роли сервиса для геоинформационных систем пользователей или приложений. В результате отпадает необходимость в их приобретении, а также пользователь получает возможность пользоваться результатом проведенного анализа информации.

Основные направления развития и совершенствования КА ДЗЗ, принятое в Российской Федерации включает:

- расширение орбитальной группировки КА ДЗЗ для увеличения периодичности наблюдения;
- улучшение основных характеристик съемочной аппаратуры ДЗЗ (пространственного разрешения, динамического диапазона и т.п.) в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазоне;
- создание высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы и существенное наращивание метеорологической группировки.

Безусловной задачей стоит интенсивное освоение аппаратуры для радиолокационной съемки, решающей проблему всепогодной съемки и независимости от условий освещенности района съемки, что являются очевидными преимуществами особенно с учетом погодно-климатических и географических особенностей нашей страны.

Заметной задачей, в первую очередь для научных организаций, является поиск и внедрение новых методов и аппаратуры ДЗЗ с иными принципами съемки. Достаточно активно в мире развивается направления создания и применения группировок малых КА ДЗЗ. Подобные решения сулят большие перспективы именно в части создание больших по численности орбитальных группировок и существенного увеличения оперативности получения данных ДЗЗ. Развитие направления создания малых КА сулит существенный технологический прогресс и предоставляет относительно доступный способ апробации различных новых технических решений в условиях космического

полета. Отработанные таким образом, новые технологии могут быть заимствованы для других по назначению КА.

Космические исследования

Научные исследования в Космосе проводятся и с помощью автоматических космических аппаратов и на Международной космической станции. Как уже говорилось выше, в настоящее время российская группировка КА научно-исследовательского назначения составляет всего 1 космический аппарат (КА «Спектр-Р»). Для ее воссоздания, помимо продолжения развертывания Российского сегмента МКС, к 2025 гг. планируется осуществить запуски 8 КА научного назначения, которые должны обеспечить:

- реализацию научных программ исследований астрофизических объектов – 2 КА («Спектр-РГ», «Спектр-УФ»);
- изучение комбинированных эффектов невесомости и ионизирующей радиации на различные организмы в ходе полета – 1 КА («Бион» № 2);
- исследование Луны, Марса и планет Солнечной системы – 4 КА («Луна-Глоб», «Луна-Ресурс», «ЭкзоМарс 2020», «Луна-Ресурс ПА»);
- глобальный стереообзор Солнца, контроль солнечной активности и космической погоды – 1 КА («Резонанс МКА»).

Несмотря на сложную внешнеполитическую обстановку, на Международной космической станции Россия, Соединенные Штаты Америки, Европа, Япония, Канада работают достаточно надежно и доверительно [5]. Можно утверждать, что такой большой международный космический проект, в общем, поддерживает глобальную международную связанность. Но при этом, в основном, очень практичное мировое сообщество имеет желание иметь дела с Россией там, где мы занимаем достойное положение. При проведении экспериментов, особенно совместных экспериментах в космическом пространстве на пилотируемых аппаратах, довольно многому мы можем друг у друга поучиться.

Как видно из табл. 1, сегодня у России есть один КА научного назначения (не считая Российского сегмента МКС). Это КА «Спектр-Р», созданный и запущенный НПО им. С.А. Лавочкина в 2011 году на орбиту с высотой апогея 330 000 км, перигея 600 км, т.е., он долетает почти до Луны. Период обращения на такой высокой вытянутой эллиптической орбите около 8 суток. Этот КА работает по программе международного эксперимента «Радиоастрон». В рамках данного проекта создан космический радиоинтерферометр со сверхбольшой базой, когда один радиотелескоп находится на Земле, а второй в Космосе. В течение 7 лет эксперимент успешно проводится с участием ученых России, Соединенных Штатов Америки, Европы, Японии, Австралии, и Южной Кореи [6].

В проведении исследований на борту МКС активное участие принимают организации Российской академии наук: 19 организаций проводят около 120 экспериментов. Достаточно большое количество экспериментов у Министерства образования и науки. Это еще раз подчеркивает, что Академия

наук и Минобрнауки являются лидерами в постановке космических экспериментов на борту Международной космической станции. Причем эти эксперименты фундаментальные.

Например, Объединенный институт высоких температур РАН и ПАО РКК «Энергия» уже несколько лет проводят программу космических экспериментов «Плазменный кристалл». В ходе этой программы проводится серия экспериментов по созданию плазмы высокочастотного разряда с заданными параметрами, автоматическом вводе в плазму пылевых частиц требуемого размера, видеорегистрация образующихся плазменно-пылевых структур при изменении параметров плазмы. Изучая плазму, можно получить колоссальные энергетические возможности. Плазма составляет около 90%, или даже больше в нашей Галактике. Эти работы носят весьма серьезный международный характер.

Активное участие в проведение экспериментов на МКС принимает Институт космических исследований РАН. Это серия экспериментов «ПЛАЗМА-Ф», БТН-Нейтрон, Конвергенция, Чибис-М, МКС-Обстановка и ряд других [7, 8, 9].

Если говорить о ближайшем будущем, об умных городах, то конечно будет сложно обойтись без возможности профессиональной медицинской телеконсультации, без телемедицинских космических каналов.

Это же касается и образования, и популяризации науки, космических исследований. Это важнейшая составляющая космической деятельности, и сейчас в области образовательных программ для повышения интереса к научным исследованиям у школьников и студентов, а также пропаганды достижений отечественной космонавтики. В этом направлении очень активно работают и Московский авиационный институт, и Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Примером могут служить научно-образовательные и демонстрационные эксперименты: «Физика-образование», «МАИ-75», «МАТИ-75», «Радиоскаф», «Кулоновский кристалл».

Образовательные программы, которые ведутся, в том числе, из космического пространства с борта Международной космической станции, позволяют массово отбирать талантливую молодежь и ее как можно раньше начинать ее учить, воспитывать и образовывать.

Заключение

Состояние российской орбитальной космической группировки обеспечивают решение задач текущих потребительских запросов, с плавным ростом в перспективе, на базе освоенных технологий. Однако в дальнейшем использование результатов космической деятельности, в первую очередь, будет обусловлено потребительскими технологиями, сопутствующими сервисами и разнообразием доступных приложений для пользователей. И есть очень серьезная проблема, это проблема всего мира, которая состоит в технологическом старении создаваемой космической техники и дальнейшее ее

развитие должно опираться на новый технологический уровень, материалы, технические решения и т.п. И над всем этим нужно активно работать организациям Российской академии наук и госкорпорации «Роскосмос».

Развитие человеческой цивилизации, научно-технический прогресс и естественные человеческие устремления позволяют сформулировать основные крупные стратегические цели космонавтики. И если первая цель, это безусловно текущая работа в космосе для улучшения жизни человека на Земле в самых разнообразных направлениях, а также сохранение Земли как уникальной и единственно известной в настоящее время населенной биологической системы во Вселенной.

Исходя из уникальности Земли, вытекает вторая цель, что в высшей степени было бы интересно и важно искать новые формы жизни за пределами планеты Земля и за пределами нашей Солнечной системы. Наконец понимая, что ресурсы Земли не безграничны и могут быть как исчерпаны, так и безвозвратно нарушены, а с другой стороны человек продемонстрировал свои возможности в познании, следует третья, скорее глобальная цель космонавтики, а именно поиск способа для расширения границ земной жизни.

Литература

1. Стратегия развития космической деятельности России до 2030 года и на дальнейшую перспективу.
2. Федеральная космическая программа РФ на 2016-2025 г.
3. Федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы».
4. <https://www.glonass-iac.ru/>
5. Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на РС МКС до 2024 года.
6. Кардашев Н.С., Алакоз А.В., Ковалев Ю.Ю., Попов М.В., Соболев А.М., Соколовский К.В. «РАДИОАСТРОН»: итоги выполнения ранней научной программы исследований объектов Вселенной со сверхвысоким угловым разрешением // Вестник ФГУП НАП им. С.А. Лавочкина. 2014. №3. С.4-11.
7. Легостаев В.П., Марков А.В., Сорокин И.В. Целевое использование Российского сегмента МКС: значимые научные результаты и перспективы // Космическая техника и технологии. 2013. №2. С. 4-18.
8. Марков А.В., Матвеева Т.В., Муртазин Р.Ф., Смирнов А.В., Соловьев В.А., Сорокин И.В., Чурило И.В., Хамиц И.И. Технология запуска микроспутников с использованием транспортных грузовых кораблей типа «Прогресс-М» // Космическая техника и технологии. 2015. №1. С. 42-52.
9. Любинский В.Е., Соловьев В.А., Марков А.В., Сорокин И.В. Научно-прикладные исследования на Международной космической станции и новые технологии управления полетом // Вестник Российской академии наук. Том 87. №6.

В.Г. Бондур¹, А.А. Лутовинов²
**Обеспечение информационной связанности территории России за
счет использования систем дистанционного зондирования Земли**

Актуальность использования методов и средств дистанционного зондирования

В соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации важным приоритетом на ближайшие 10-15 лет является обеспечение связности территории страны. Это должно достигаться, в том числе, за счет занятия и удержания лидирующих позиций в освоении и использовании космического и воздушного пространства. В связи с этим необходимо обеспечить разработку современных методов, технологий и создание систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также методов, алгоритмов и программного обеспечения для обработки и интерпретации больших объемов формируемой этими системами аэрокосмической информации.

Дистанционное зондирование Земли - одно из наиболее важных и бурно развивающихся направлений космической деятельности, которое вносит существенный вклад в экономику развитых стран, в том числе Российской Федерации. Этот вид деятельности наиболее восприимчив к инновациям и требует внедрения самых последних достижений фундаментальной и прикладной науки.

Основными особенностями методов и систем ДЗЗ являются [1-7]:

- большая обзорность, позволяющая анализировать обширные территории, что очень важно для нашей огромной страны, имеющей площадь порядка 17,125 млн. км²
- возможность работы в любых, характерных для России, труднодоступных и малонаселенных районах;
- оперативность получения информации;
- возможность получать информацию, практически в любом масштабе, с высоким пространственным и временным разрешением в различных участках спектра электромагнитных волн;
- широкий набор регистрируемых параметров среды;
- высокая достоверность получаемых данных;
- возможность работы при частичном или полном отсутствии топографической основы;
- относительная дешевизна информации, особенно при работе на больших площадях;
- возможность передачи и ретрансляции данных, полученных с помощью наземных, водных, воздушных источников.

¹ Вице-президент РАН, научный руководитель Научно-исследовательского института «Аэрокосмос», академик РАН

² Заместитель директора Института космических исследований РАН, доктор физико-математических наук, профессор РАН

Основной задачей систем ДЗЗ является проведение непрерывного мониторинга в интересах получения объективной оперативной геопространственной информации для всей территории России, а также ее отдельных регионов. Эта информация необходима для оценки текущего состояния территорий, стратегического планирования и прогнозирования направлений их развития, объективного контроля выполнения различных проектов.

Отсутствие интегральной информации, независимой от субъективных оценок, человеческого фактора и мнений заинтересованных ведомств, не позволяет давать объективную оценку текущего состояния и динамики изменений различных территорий. Это приводит к серьезным недостаткам в планировании, как развития отдельных регионов, так и страны в целом.

Очевидно, что получать такую информацию можно только с использованием методов дистанционного зондирования из космоса и с воздушных летательных аппаратов, а также с применением современных методов и технологий автоматизированной обработки аэрокосмических данных [1, 8-11].

Для решения таких задач необходимо развивать существующие и разрабатывать новые методы и средства аэрокосмического мониторинга и, прежде всего, существенно усилить российскую орбитальную группировку спутников ДЗЗ.

Примеры применения аэрокосмических методов и средств, направления использования аэрокосмических данных

Аэрокосмическая информация используется в интересах:

- предупреждения и оценки последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с природными катастрофами и техногенными авариями [1-3, 12-22];
- экологического мониторинга и охраны окружающей среды [1, 4-7, 23-27, 33];
- исследования и рационального использования природных ресурсов [4, 28-30, 33];
- мониторинга морей и океанов, в том числе прибрежных акваторий [1, 6, 7, 10, 31, 32];
- метеорологии и климатологии [1, 4, 6, 19, 21, 22, 25-27];
- лесного и сельского хозяйства [2, 5, 13, 14, 21-23, 25, 29, 30];
- градостроительства [18, 24, 26, 29];
- транспорта [35-37];
- энергетики [1, 2, 12, 13, 15];
- проведения исследований в интересах наук о Земле [1-3, 6, 7, 10, 11, 21, 22, 27];
- обеспечения обороны и безопасности [1];
- создания цифровых карт, кадастров различных объектов [2, 4, 13, 15, 24-26, 33-37];
- формирования геоинформационной продукции для широкого круга потребителей [1-5, 13, 19, 24, 29, 33-37] и многих других направлений.

На рис. 1 представлены примеры некоторых направлений использования космических методов и технологий для мониторинга чрезвычайных ситуаций, таких как штормы, сели, лавины, оползни, наводнения, землетрясения, извержения вулканов, тайфуны, цунами, пожары, различные техногенные аварии. В Российской Федерации наибольший ущерб наносят природные пожары и наводнения [12, 14, 19-21, 22, 26, 34].

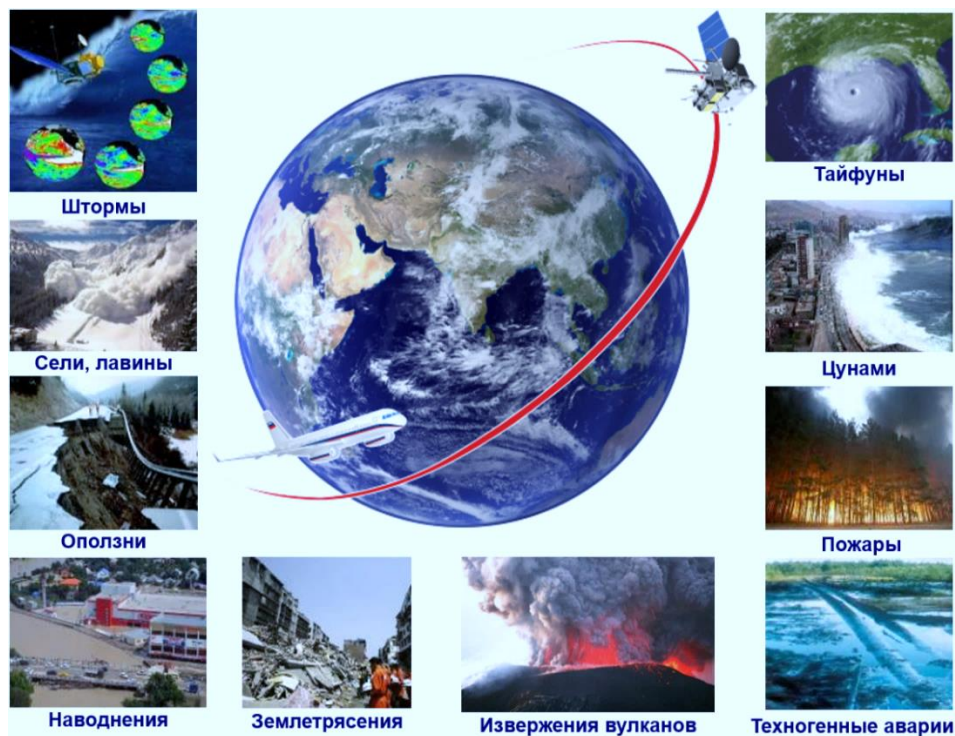


Рис. 1. Некоторые направления использования космических методов и технологий для мониторинга чрезвычайных ситуаций

Космический мониторинг природных пожаров

Одним из наиболее опасных типов природных катастроф, происходящих как в России, так и на планете в целом, являются природные пожары. Площадь, пройденная огнем при природных пожарах, на территории России составляет от 6.8 до 23.4 млн. га ежегодно [2, 13, 14, 19-22, 26, 28].

Лесные, торфяные и степные пожары – один из важнейших природных источников эмиссий химически активных (в том числе парниковых) газов и аэрозолей, влияющих на климат планеты. Пожары вызывают сильнейшие выбросы углекислого и угарного газа (CO_2 и CO) в воздушную среду, провоцируя возникновение «парникового эффекта», что приводит к неблагоприятным изменениям климата [22, 26-28]. Природные пожары способствуют также возникновению облачности в верхних слоях атмосферы, что вызывает региональные климатические изменения [14, 23, 25-28].

Кроме того, природные пожары снижают стоки атмосферного углерода вследствие снижения биомассы и из-за трансформации растительности в источники углерода за счет прямых выбросов при ее сгорании (от 40.0 до 130.0 Мт в год) и косвенных воздействий пожаров на тепловой и водный режимы, а также на структуру и функционирование экосистем [14, 19, 21-23, 25-28].

В связи с этим актуально получение как можно более точных данных о пространственной и временной изменчивости распределения количества пожаров, площадей выгоревших территорий и объемов эмиссий малых газовых компонентов и аэрозолей в воздушную среду. Такие данные могут быть получены с использованием спутниковых систем мониторинга и современных методов обработки больших потоков космической информации [1, 8-10, 15, 19, 30]. В связи с этим, учитывая особенности и характерные масштабы природных пожаров, происходящих на огромной территории России, для решения проблемы их обнаружения и оценки последствий от них, необходимо применять космические методы и средства мониторинга.

Спутниковую информацию для слежения за пожарами используют в США, Канаде и некоторых странах ЕС (например, Германия). В Федеральном агентстве лесного хозяйства России существует Информационная система дистанционного мониторинга (ИСДМ - Рослесхоз), созданная с участием ФГУ «Авиалесоохрана», ИКИ РАН, НИЦ «Планета» и других организаций [14, 19, 28, 34, 38]. Спутниковые данные для контроля пожаров используются в МЧС России и в Инженерно-технологическом центре СКАНЭКС. Современная система оперативного космического мониторинга природных пожаров (СКМ) создана и успешно эксплуатируется в «Научно-исследовательском институте аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос» [2, 19, 21, 22, 26]. Эта система позволяет проводить раннее обнаружение, прогноз динамики развития и оценку последствий природных пожаров, а также оперативное формирование и передачу заказчикам различной информации об этих природных катаклизмах.

На рис. 2 в качестве примера приведена мозаика космических изображений, сформированных системой космического мониторинга НИИ «Аэрокосмос» с отображением геобраузером [19, 21]. Слева на этом рисунке приведены увеличенные фрагменты с результатами обработки космических данных, иллюстрирующие интенсивные пожары во Владимирской, Рязанской, Московской и Нижегородской областях. Внизу и справа в качестве примеров приведены фрагменты, иллюстрирующие результаты определения площадей участков, пройденных огнем, объемы ежедневных эмиссий угарного газа (СО), выделяемых при пожарах, и пространственные распределения общего содержания СО над Европейской частью территории России, определенные по космическим данным.

На рис. 3 приведены примеры, иллюстрирующие результаты обнаружения пожаров в различные годы в различных регионах России [19, 21, 22, 26].

На рис. 4 в качестве примеров представлены ежемесячные (а, б) и годовые (в, г, д, е) распределения общих площадей всех видов природных пожаров и площадей только лесных участков территорий, пройденных огнём, а также

обусловленные ими ежегодные объёмы эмиссий CO, CO₂ и мелкодисперсных аэрозолей PM_{2.5}, на всей территории Российской Федерации за период времени с 2005 по 2017 гг. [22, 23, 28, 29].

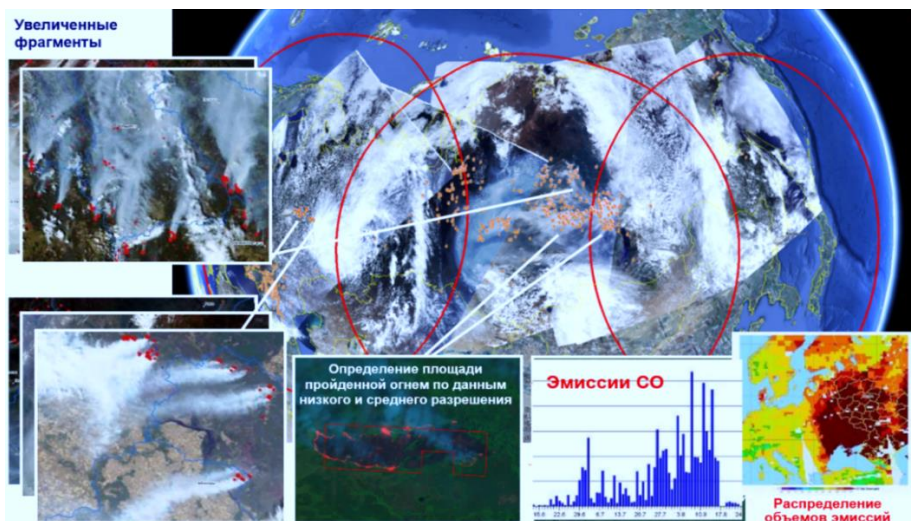


Рис. 2. Оперативный космический мониторинг природных пожаров и их последствий системой «АЭРОКОСМОС»

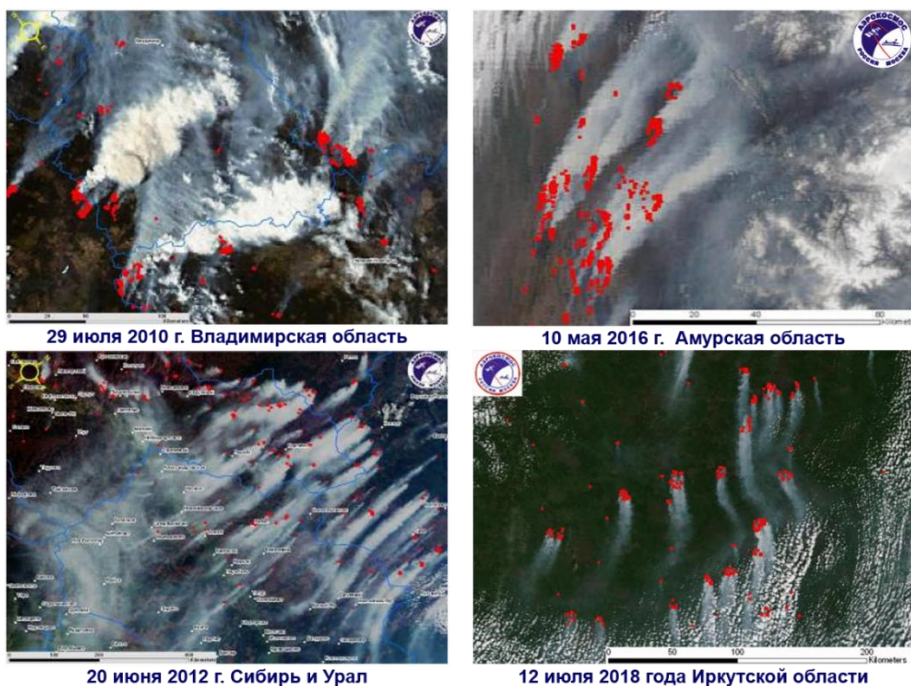


Рис. 3. Примеры обнаружения пожаров из космоса

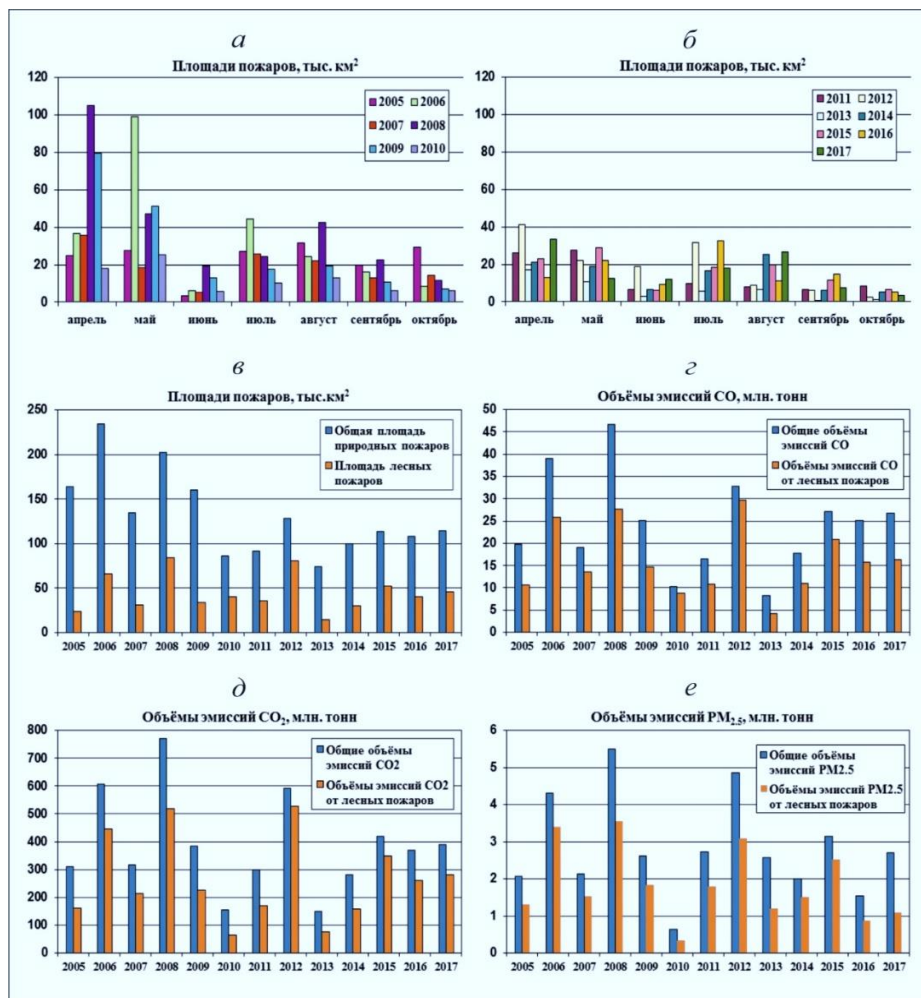


Рис.4. Результаты космического мониторинга природных пожаров на всей территории Российской Федерации в 2005-2017 гг.: распределения по месяцам общих площадей выгоревших территорий по месяцам - а – в пожарные периоды 2005-2010 гг.; б – в пожарные периоды 2011-2017 гг.; в – годовые распределения общих площадей природных пожаров (синий) и площадей лесных пожаров (красный); г, д, е – годовые распределения объёмов эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5} соответственно, обусловленных как всеми видами природных пожаров (синий), так и только лесными пожарами (красный)

Космический мониторинг тайфунов (тропических циклонов) и наводнений

Тайфуны (тропические циклоны) (ТЦ) – это самые разрушительные из всех видов природных катастроф. Их влиянию подвержены Дальневосточные

регионы России. Наибольший ущерб приносят ураганные ветры в области тайфунов, сопровождающиеся штормовыми нагонами воды и наводнениями [3]. Энергия этих катастрофических природных явлений на границе раздела атмосфера-океан достигает колоссальных величин. Для оценки кинетической энергии ТЦ используем эмпирическое выражение [39].

$$W_{\text{Ц}} = 0.25\pi\rho LR^2V^2 \approx 0.6LR^2V^2$$

где V - скорость воздушных потоков в циклоне;

L, R - высота и радиус воздушного столба;

$\rho = 0.8 \text{ кг/м}^3$ - средняя плотность воздуха.

В табл. 1 приведены результаты расчетов кинетической энергии ТЦ при различных скоростях ветра, радиусах и высотах воздушного столба в нескольких типовых случаях.

Таблица 1.

Результаты расчетов кинетической энергии ТЦ

Параметры и стадии развития ТЦ	Энергия ТЦ	Сопоставление
При $V = 17 \text{ м/с}$, $L = 10 \text{ км}$ и $R = 7 \text{ км}$ Стадия зарождения	$W_{\text{Ц}} \approx 10^{14} \text{ Дж}$	20-килотонная атомная бомба
При $V = 27 \text{ м/с}$, $L = 10 \text{ км}$ и $R = 150 \text{ км}$ Тропический шторм	$W_{\text{Ц}} = 10^{17} \text{ Дж}$	20-мегатонная водородная бомба
При $V = 37 \text{ м/с}$, $L = 10 \text{ км}$ и $R = 350 \text{ км}$ Стадия урагана	$W_{\text{Ц}} = 10^{18} \text{ Дж}$	Десяток 20-мегатонных водородных бомб

Приведенные оценки показывают, что при зарождении ТЦ их кинетическая энергия достигает величин, сравнимых с энергией 20-килотонной атомной бомбы, на стадии тропического шторма – 20-мегатонной водородной бомбы, а на стадии урагана – десяти 20-мегатонных водородных бомб [2, 3].

В настоящее время, несмотря на успехи методов моделирования для исследования процессов зарождения и развития ТЦ, однозначная физическая интерпретация их результатов невозможна. Поэтому чрезвычайно важно детальное изучение тайфунов с целью выявления характерных отличительных признаков для прогноза моментов их зарождения, развития, определения направления движения и своевременного предупреждения. Одним из наиболее актуальных направлений исследований тайфунов является космический мониторинг [2, 3, 13].

На рис. 5 приведены некоторые основные космические аппараты, используемые для мониторинга тайфунов.

К сожалению, в настоящее время российская космическая группировка метеорологических спутников, как и вообще спутников ДЗЗ, крайне малочисленна. Поэтому необходимо принимать строгие меры по ее существенному увеличению.

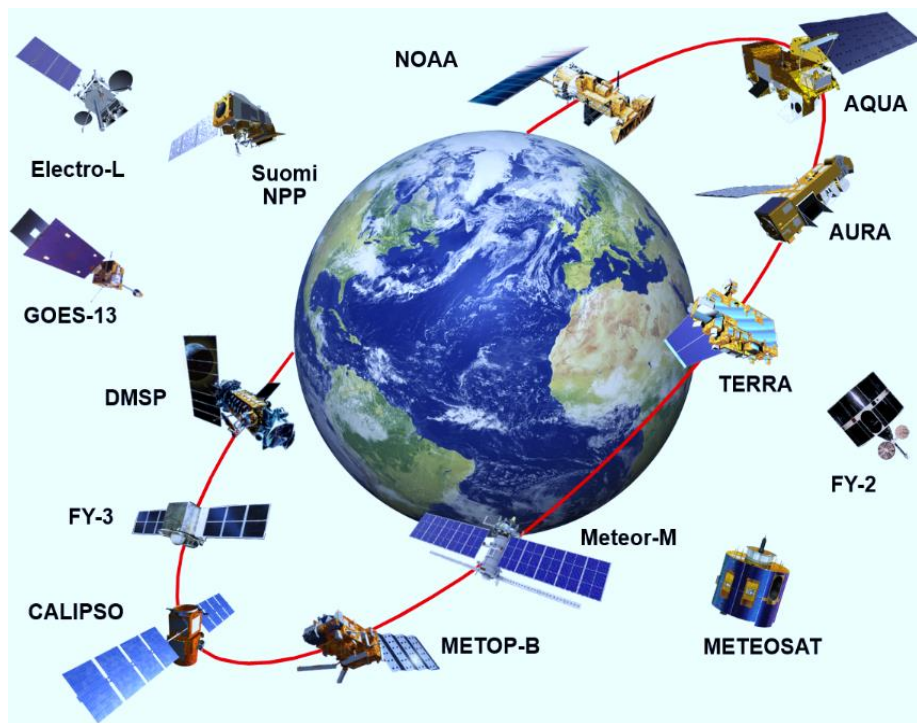


Рис. 5. Космические средства для мониторинга тайфунов

На рис. 6 в качестве примеров приведены космические изображения и траектории различных тропических циклонов, построенные по космическим данным, в северной части Тихоокеанского региона в 2018 г. Дальневосточный регион России подвержен воздействию тайфунов, зарождающихся и эволюционирующих в этой зоне тропического циклогенеза [3].

Как уже отмечалось, одними из наиболее опасных последствий тайфунов являются наводнения. На рис. 7 в качестве примера приведены два космических изображения, полученных со спутника высокого пространственного разрешения (0,7 м) до и после наводнения в районе г. Хабаровск. Эти изображения наглядно демонстрируют последствия катастрофического наводнения, что свидетельствует об эффективности использования космических данных для оценки последствий таких опасных явлений, как наводнения, вызванные, в том числе тропическими циклонами.

Космический мониторинг морей и океанов

С использованием космических методов и средств решаются следующие основные проблемы современной океанологии [6, 7]:

- изучение природы Мирового океана;
- освоение ресурсов океана;
- охрана окружающей среды в морях и океанах;

- фундаментальные исследования в области физики, химии, биологии и геологии океана;
- мониторинг изменчивости широкого спектра океанологических параметров в глобальном и региональном масштабах;
- обеспечение безопасности в морях и океанах.

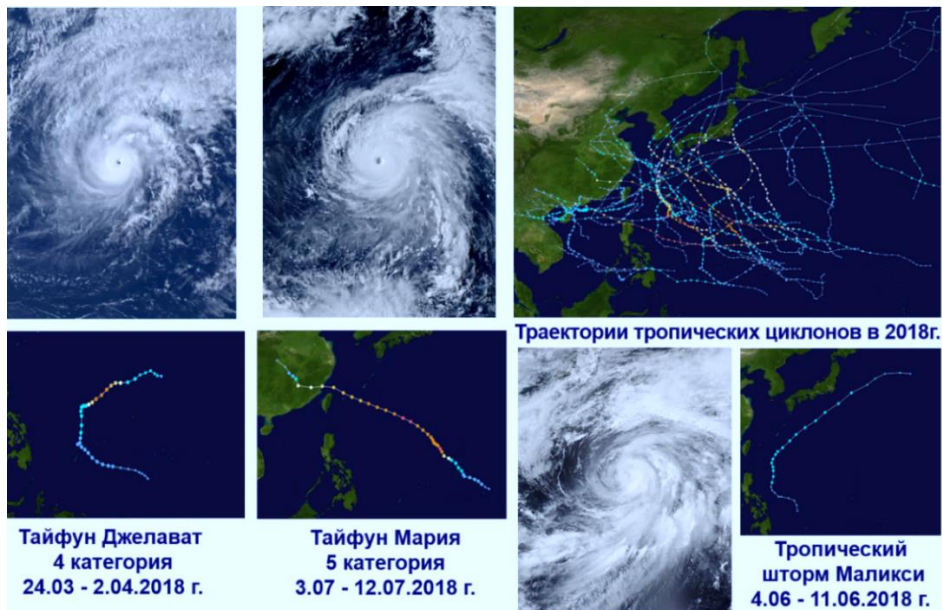


Рис. 6. Тайфуны в тихоокеанском регионе в 2018 г., обнаруженные из космоса



Рис. 7. Наводнение в районе г. Хабаровск. Вид из космоса (пространственное разрешение 0.7 м)

При этом с использованием аэрокосмических методов могут решаться следующие основные задачи [6, 7]:

1. Фундаментальные исследования для получения новых знаний о Мировом океане:

- взаимодействия океана и атмосферы, изменений климата;
- динамики вод морей и океанов;
- гидрофизических полей толщи океана;
- изменчивости температуры поверхности океана;
- вклада Мирового океана в углеродный цикл;

2. Мониторинг катастрофических процессов в океане (тайфуны, цунами, Эль-Ниньо, штормы, «волны-убийцы» и др.) для их предупреждения

3. Изучение природных ресурсов Океана;

4. Изучение зон апвеллинга

5. Исследование биопродуктивности морей и океанов, биоразнообразия и изменения экосистем под влиянием естественных и антропогенных факторов;

6. Мониторинг загрязнений океана в глобальном и региональном масштабах;

7. Комплексный мониторинг шельфовых зон и материкового склона;

8. Исследование приливно-отливных явлений и уровня Мирового океана в глобальном и региональном масштабах;

9. Мониторинг Арктики и контроль ледовой обстановки;

10. Предоставление космической информации в интересах различных отраслей экономики.

Одной из наиболее актуальных проблем в области рационального природопользования является предотвращение загрязнения окружающей среды в том числе акваторий морей и океанов. Важное место среди них занимают загрязнения, вызванные антропогенными воздействиями на экосистемы прибрежных акваторий [6, 7, 12, 13, 41]. Указанные проблемы актуальны и для прибрежных акваторий морей России. Это обусловлено интенсивной рекреационной деятельностью, жилой застройкой, добычей углеводородного сырья на шельфе, а также созданием терминалов, магистральных трубопроводов и путей сообщения [6, 7, 40].

Наиболее эффективным способом решения этих проблем является применение методов и технологий космического мониторинга в сочетании с локальными подспутниковыми измерениями [6, 7, 11, 31, 32].

Источниками антропогенных воздействий на прибрежные акватории являются [6, 7, 31, 32, 40]:

- промышленное производство;
- добыча полезных ископаемых и углеводородного сырья;
- сброс промышленных и хозяйственных вод;
- поступление с суши различных веществ, применяемых в сельском и лесном хозяйствах;
- преднамеренное захоронение в море загрязняющих, радиоактивных веществ;
- аварии на морском транспорте и военных кораблях;

- аварийные выбросы с подводных трубопроводов;
- туристическая и рекреационная деятельность;
- перенос загрязняющих веществ через атмосферу.

Наращение суммарного воздействия загрязнений приводит к прогрессирующей эвтрофикации прибрежных зон и микробиологическому загрязнению, что затрудняет использование воды для различных нужд. Концентрация загрязняющих веществ антропогенного происхождения в приповерхностном слое вблизи побережий привела к ряду нарушений баланса экосистем и к снижению продуктивности этих акваторий.

Наиболее сильное негативное воздействие на прибрежные акватории оказывают сбросы промышленных и хозяйственных вод (глубинные стоки) [40].

Ниже приведены примеры, демонстрирующие возможности космических методов и технологий для мониторинга таких наиболее опасных источников антропогенного воздействия на прибрежные акватории, как глубинные стоки. На рис. 8 представлены примеры обработки космических радиолокационных изображений, полученных 14 сентября (a-d) и 2 октября (e-h) 2016 г. с борта спутника SENTINEL-1A для прибрежной акватории у г. Геленджик в месте расположения сбросового устройства глубинных стоков [41].

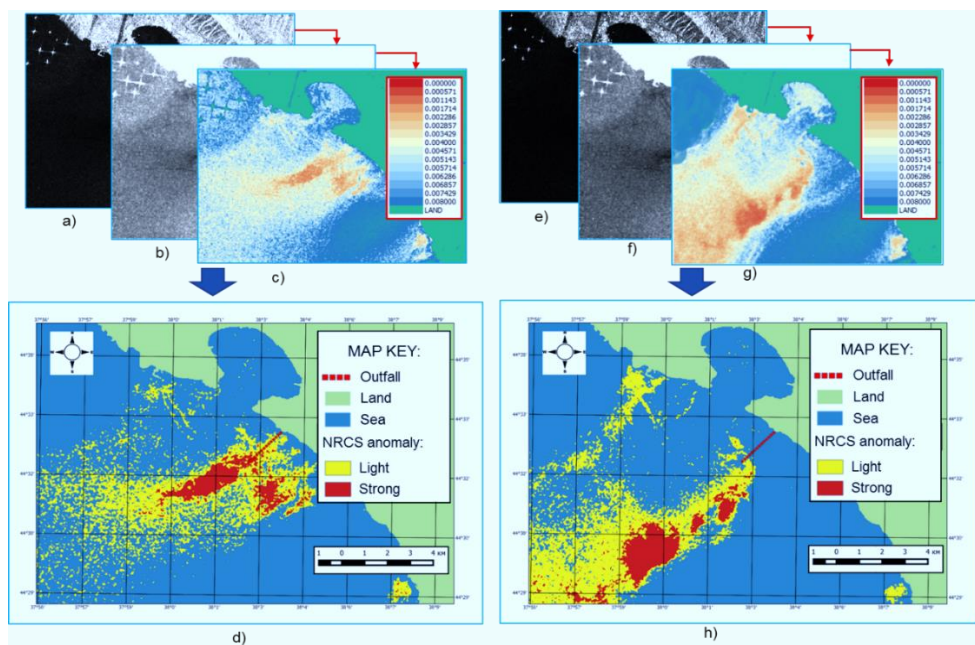


Рис. 8. Примеры этапов обработки (a, b, c, e, f, g) космических радиолокационных изображений для прибрежной акватории в районе г. Геленджик, полученных 14 сентября (a-d) и 2 октября (e-h) 2016 г. со спутника SENTINEL-1A [SENTINEL DATA HUB], и сформированные карты распределений аномальных значений контрастов УЭПР водной поверхности (d, h), обусловленных проявлением глубинных стоков (d, h).

На этом рисунке приведены фрагменты исходных космических радиолокационных изображений (поляризация VV), прошедших процедуру геопривязки и радиометрической калибровки (а, е), а также результаты применения процедур сглаживающей фильтрации (медианный фильтр с размером сканирующего окна 9x9 пикселей) и эквализации гистограммы яркостей (b, f). На рис. 8с, 8g приведены результаты пороговой обработки и цветокодирования, а на рис. 8d, 8h – карты распределений контрастов УЭПР (2.5-4 дБ) с указанием местоположения сбросового устройства у г. Геленджик [41].

На рис. 9 приведены примеры сопоставления результатов обработки многоспектральных оптических космических изображений (спутник Landsat-8), радиолокационных изображений (спутник SENTINEL-1A), а также пространственной спектральной обработки панхроматических изображений высокого пространственного разрешения (спутник Ресурс-П) в зоне сбросовых устройств у г. Севастополь [41].

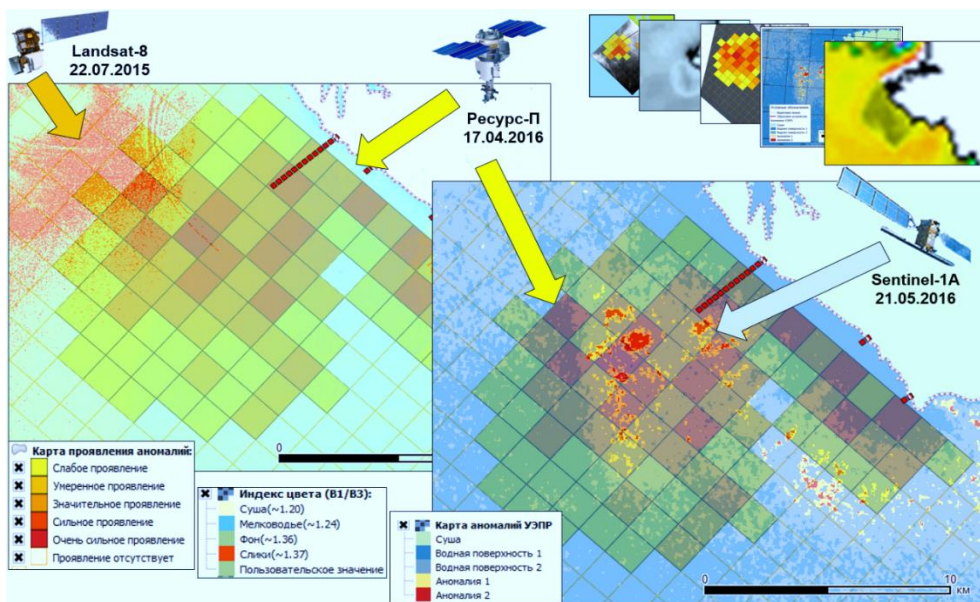


Рис. 9. Примеры сопоставления результатов обработки разновременных разнотипных космических данных, полученных у г. Севастополь

На рис. 10а, в качестве примеров, представлены фрагменты временного ряда обработанных космических изображений, полученных с борта спутников GEOEYE-1 и WorldView-2, 3 для прибрежной акватории у г. Севастополь. При обработке многоспектральных космических изображений применялись спектральные информативные признаки [9, 11, 31, 32]. Для обнаружения аномалий гидрооптических характеристик водной среды, приуроченных к местам расположения коллекторов сбросовых устройств, использовались пространственные распределения значений индексов цвета [6, 11, 31, 32].

На рис. 10b приведен увеличенный фрагмент обработанного изображения, полученного 10 мая 2015 года со спутника WorldView-3, на котором отчетливо выделяется оптическая аномалия, примыкающая с юго-востока к линии расположения коллектора (в районе его разрыва). На рис. 10с приведена обобщенная карта-схема зарегистрированных в серии экспериментов аномалий, вызванных распространением глубинных стоков из разрыва коллектора, а также измеренного контактными датчиками распределения содержания фосфатов [41].

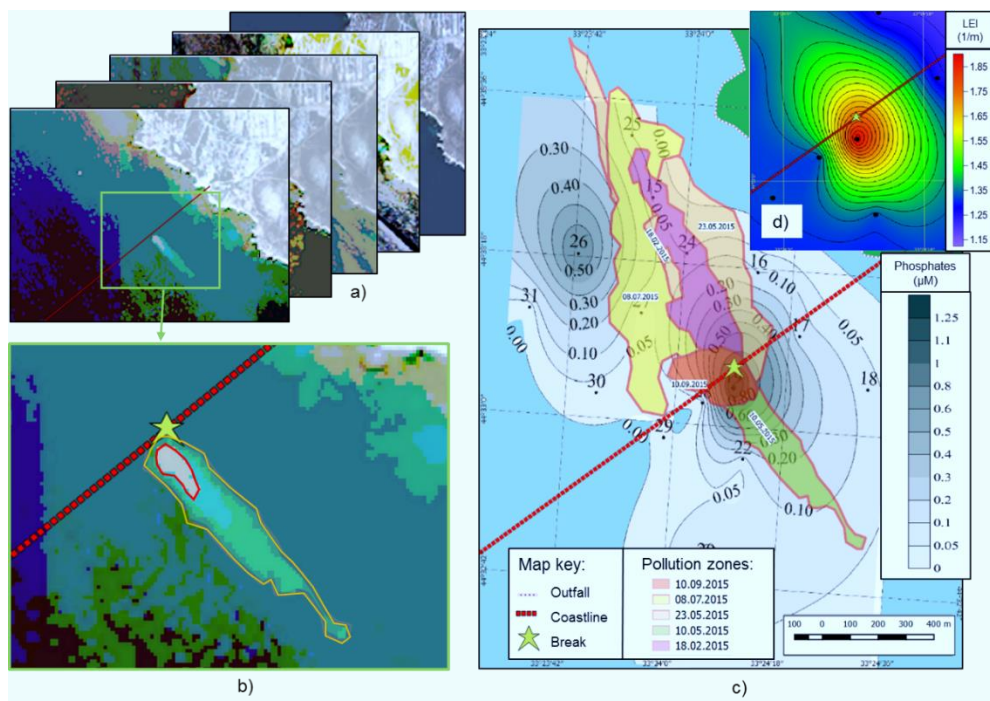


Рис. 10. Примеры обработки серии космических оптических многоспектральных изображений, полученных со спутников GEOEYE-1, WorldView-2,3 для прибрежной акватории у г. Севастополь (а, б).

Карта с объединенными результатами определения зон антропогенных воздействий, обусловленных разрывом коллектора сбросового устройства, а также по данным подспутниковых гидрохимических (с) и гидрооптических измерений (д)

В области разрыва коллектора сбросового устройства выявлено повышенное содержание фосфатов в поверхностном слое вод на глубинах от 0 до 5 метров.

На рис. 10d приведены результаты подспутниковых судовых измерений показателя ослабления света на длине волны 370 нм (прибор – девятиканальный измеритель показателя ослабления направленного света). Как следует из анализа рисунка 10с, обнаруженный разрыв коллектора сбросового устройства (условно обозначен звездочкой) располагается на

расстоянии около 800 м от берега, тогда как сбросовое устройство имеет общую длину 3,3 км. В зоне разрыва выявлено повышение концентрации фосфатов (рис. 10с) и увеличение показателя ослабления света с 1,15 до 1,9 1/м в приповерхностном слое моря (рис. 10d) [41].

Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность комплексного использования различных космических данных для обнаружения антропогенных воздействий на прибрежные акватории.

Аналогичные результаты были получены по данным спутниковых и контактных наблюдений, выполненных в других прибрежных акваториях [6, 7, 11, 31, 32].

Современное состояние дел по созданию систем объективного дистанционного мониторинга

Своевременность создания систем спутникового мониторинга во многом определяется тем, что в последнее десятилетие в области дистанционного зондирования произошли большие, во многих случаях революционные изменения. К ним относятся, в первую очередь:

- развитие средств дистанционного зондирования Земли с улучшением количественных и качественных характеристик;
- развитие методов автоматизированной обработки данных ДЗЗ, позволившее обеспечивать получение объективной (независимой от человеческого фактора) геопространственной информации;
- развитие информационных технологий, обеспечивающих максимально автоматизированную работу с данными ДЗЗ, в том числе технологий хранения, обработки и распределенной работы с данными;
- создание и внедрение различных специализированных систем дистанционного мониторинга.

Как следствие этого, происходит взрывной рост количества геопространственной информации, получаемой от систем ДЗЗ.

Ниже мы лишь кратко проиллюстрируем эти изменения.

По состоянию на середину 2018 года на орбите Земли функционировало более 420 (по данным <http://database.eohandbook.com>) космических аппаратов ДЗЗ. Тенденциями развития современных средств ДЗЗ являются следующие:

1. Создание многоспутниковых систем. Развитие современной приборной базы (оптические системы массой 20-50 кг при энергопотреблении 40-80 Вт) позволило создавать спутники массой порядка 100 кг. В настоящее время стало возможным создание микроспутников массой 11-80 кг (типа CubeSat, SkySat).

2. Обновление информации высокого разрешения. Уже сегодня функционируют 13 малых спутников SkySat, 140 CubeSat, 5 RapidEye, которые обеспечивают обновление данных 1 раз в день. Эти аппараты позволяют получать около 1.5 млн. изображений в день.

3. Установка дополнительной нагрузки на коммерческих спутниках связи. Например, на низкоорбитальных спутниках системы Iridium Next и проектируемой системы «Сфера» дополнительно устанавливается аппаратура ДЗЗ.

4. Перспективы связаны с разработкой спутниковых систем двойного назначения на базе созвездия малых космических аппаратов, новых типов аппаратуры ДЗЗ (малогабаритные РСА, что очень актуально для России), гиперспектральной и другой аппаратуры.

Настоящим прорывом в развитии средств ДЗЗ, безусловно, стал запуск и ввод в эксплуатацию полной космической группировки Planet Labs, в которую входит около 200 микроспутников (по данным NORAD). Есть все основания полагать, что и в ближайшие годы, с учётом падения стоимости создания спутников на основе готовых решений и стандартизированных платформ типа Cubesat, будут созданы и другие крупные спутниковые группировки. Так, по оценкам Euroconsult к 2026 году на орбите будет действовать более 1000 спутников ДЗЗ [42].

Ежегодный рост объема геопространственных данных составляет более 20%. За год сенсоры всех самолетов производят 2,5 эксабайт данных. При этом спутники дают 43-45%; авиация 27%; наземные средства 23% геоданных.

В ближайшем десятилетии ожидается взрывной рост объемов информации, производимой различными средствами ДЗЗ (воздушными, космическими). Это подтверждают сделанные несколько лет назад прогнозы ESA о фактически экспоненциальном росте в ближайшие годы объемов спутниковых данных и получаемых на их основе различных информационных продуктов, что хорошо подтверждается примерами роста объемов различных архивов спутниковых данных (см. рис. 11).

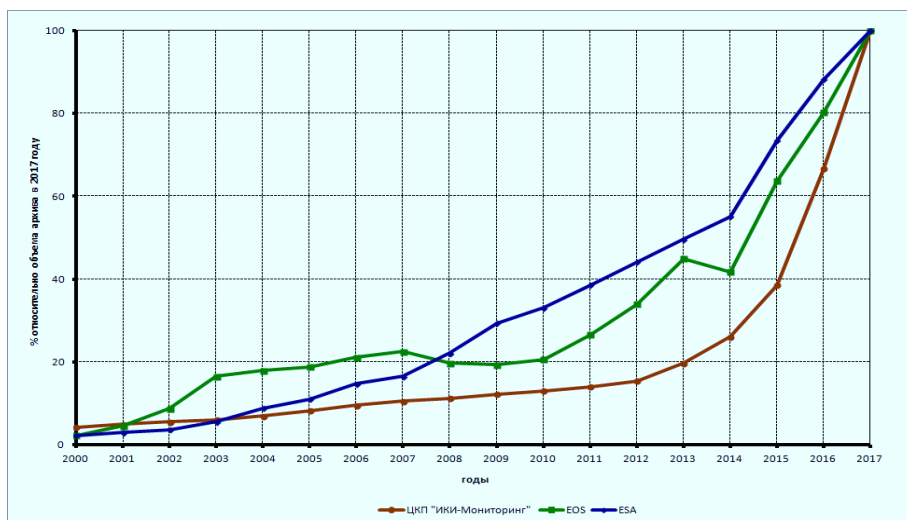


Рис. 11. Относительные темпы роста архивов ESA, EOS, и ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (нормированные на объем архивов в 2017 г.)

Особенности обработки данных ДЗЗ

Для обработки сверхбольших объемов информации, формируемой средствами ДЗЗ, требуется адаптация существующих и разработка специализированных программных и технических средств, обеспечивающих

автоматизацию, повышение достоверности и быстродействия анализа данных. При этом должны использоваться: высокопроизводительные вычислительные средства; базы данных; новые способы доступа к данным и управления Большими данными, ГИС-технологии, технологии виртуальной реальности [9]. При этом необходимо обеспечить распараллеливание вычислений на тысячи потоков и обеспечить индексацию геопространственных данных петабайтного и эксабайтного масштаба в режиме времени, близком к реальному.

При анализе потоков многоспектральных и гиперспектральных аэрокосмических данных выполняется ряд этапов обработки, основными из которых являются [8-11]:

1. Предварительная обработка, включающая: радиометрическую коррекцию (устранение искажений за счет неравномерности чувствительности элементов детекторов); учет влияния атмосферы; геометрическую коррекцию (устранение сдвига, учет кривизны земли, особенностей ландшафта); географическая привязка; синтез цветных и псевдоцветных изображений из канальных изображений;

2. Повышение качества изображений, включая: контрастирование; фильтрацию с использованием различных фильтров; подчеркивание границ; совмещение изображений, полученных в разных спектральных каналах, и т.п.;

3. Формирование временных рядов изображений для областей интереса и коррекция геопривязки по наземным опорным точкам;

4. Формирование спектров для всех пикселей гиперспектральных изображений, их отдельных фрагментов или в пределах выделенных контуров;

5. Тематическая обработка, заключающаяся в классификации изображений (контролируемой, неконтролируемой) на основе различных подходов, таких как: детерминированный, непрерывно-групповой, синтаксический, статический, нечеткий, нейрокомпьютерный и др. Важным этапом тематической обработки является оптимизация числа используемых спектральных каналов при анализе многоспектральных и гиперспектральных изображений для решения конкретных задач;

6. Формирование временных рядов тематически сегментированных аэрокосмических изображений и их фрагментов для областей интереса;

7. Выявление изменений и замещений исследуемых объектов, процессов и явлений по результатам совместной тематической обработки последовательности изображений и анализа их динамических свойств;

8. Интерпретация гиперспектральных изображений, заключающаяся в выявлении признаков, восстановлении значимых параметров исследуемых элементов изображений, символьном представлении результатов, семантической интерпретации и др.;

9. Сопоставление результатов обработки разновременных и разнотипных гиперспектральных и других изображений, полученных с различных летающих платформ (спутники, самолеты и др.) и экспорт их в ГИС;

10. Анализ результатов обработки и формирование обоснованных рекомендаций для принятия решений.

Примеры результатов обработки космических изображений

В качестве примеров, иллюстрирующих возможности разработанных методов, алгоритмов и программно-аппаратных комплексов, приведем некоторые результаты обработки гиперспектральных и многоспектральных космических изображений.

На рис. 12 в качестве примера представлен результат классификации различных объектов, проведенной по 8-канальному космическому изображению, полученному с борта спутника WorldView-2. На рис. 12а приведено исходное синтезированное изображение, на рис. 12б это же изображение с нанесенными обучающими участками, а на рис. 12в – изображение с результатами классификации, на котором цветом обозначено 12 типов выделенных объектов [9]. Выделение объектов осуществлялось путем автоматической классификации методом максимального правдоподобия. Средняя вероятность правильной классификации для выделенных типов объектов составляла 0.93. При этом наилучшим образом распознавался класс – вода (вероятность правильной классификации 0.99) [9].

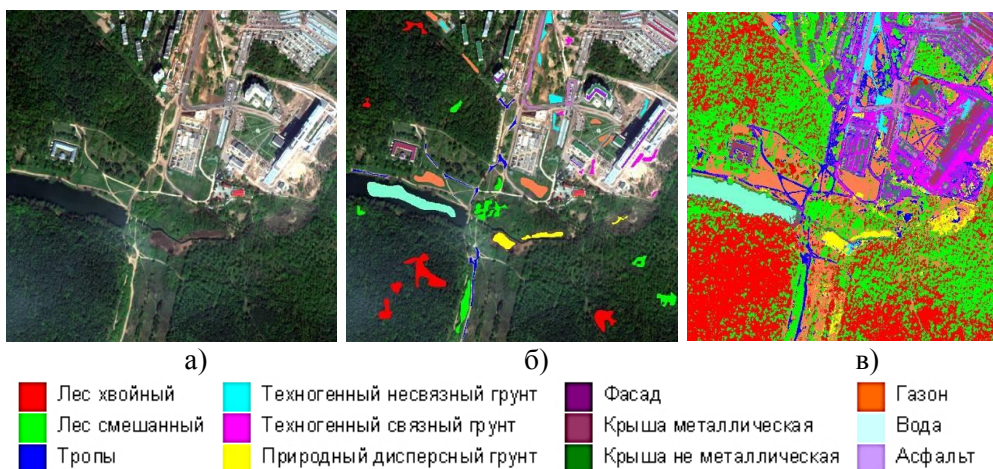


Рис. 12. Классификация 12 типов наземных объектов по многоспектральному космическому изображению: а) исходное изображение, полученное со спутника WorldView-2; б) исходное изображение с обучающими выборками; в) результат классификации методом максимального правдоподобия

Как пример, можно привести создание и применение методов анализа данных ДЗЗ для оценки и мониторинга лесных ресурсов. Современный этап развития методологии мониторинга лесов определяется высоким уровнем доступности данных ДЗЗ, возможностью их оперативного получения и формирования однородных по радиометрическому и геометрическому качеству многолетних рядов, развитием автоматических технологий предварительной и тематической обработки данных. Это позволило разработать в России технологии дистанционного мониторинга лесов, которые в настоящее время активно используются для решения как научных, так

и прикладных задач. Работы по созданию, развитию и внедрению данных технологий велись, в первую очередь в ИКИ РАН, НИИ «АЭРОКОСМОС», ЦЭПЛ РАН и др.). Основные возможности данных технологий описаны, в частности, в работах [2, 13, 30, 33, 38].

В качестве примера приведем результат обработки гиперспектрального изображения, полученного с помощью аппаратуры Hyperion спутника EO-1 для автоматического определения породного состава леса (см. рис. 13а). На первом этапе обработки оператором выделялось на этом изображении несколько участков леса, которые использовались в качестве тестовой выборки для класса «Лес». Затем проводилась неконтролируемая классификация оставшейся части гиперспектрального изображения. После кластеризации обрабатываемого изображения производилось распознавание лесных участков, и строилась кривая ошибок. На этой кривой выбиралась рабочая точка с минимальной вероятностью пропуска класса «Лес». На рис. 13б представлена карта с результатом обнаружения лесных участков, полученная в результате обработки гиперспектрального космического изображения [9].

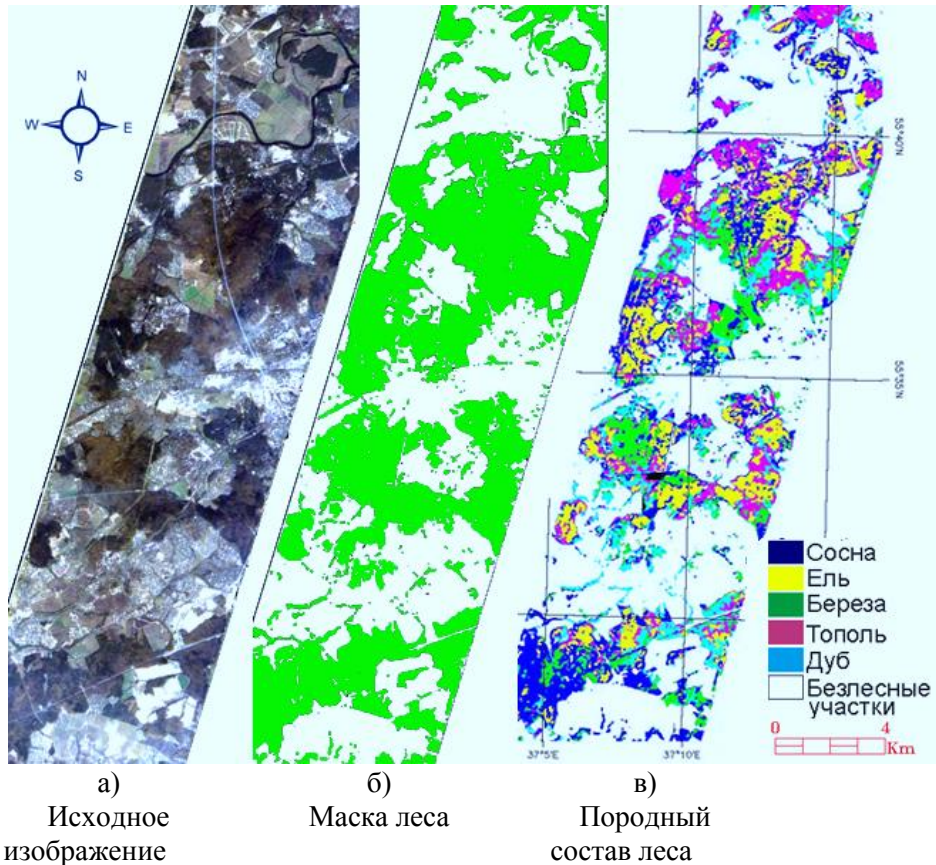


Рис. 13. Автоматическое определение породного состава леса

Для определения породного состава лесов использовалась информация, полученная на обучающих тестовых участках, и применялся алгоритм разделения смесей, в результате работы которого формировался обобщенный «гиперкуб» признаков. Затем с применением метода максимума правдоподобия вычислялись дискриминантные функции. Результат определения породного состава леса путем обработки гиперспектрального космического изображения представлен на рис. 13в. На этом рисунке показаны места произрастания пяти типов деревьев (сосна, ель, березы, тополь, дуб), характерных для исследуемого природного пояса России, а также участки, на которых отсутствовал лес [9].

Развитие технологий ДЗЗ. Развитие технологий ДЗЗ и разработка новых подходов к методам обработки информации позволяет существенно расширить круг применения систем аэрокосмического мониторинга. В свою очередь, это требует разработки специальных технологий, которые могли бы обеспечить организацию практически полностью автоматизированного цикла получения, архивации, обработки и распространения информации, получаемой на основе данных ДЗЗ и, в конечном итоге, построения информационных систем дистанционного мониторинга различных объектов. Работы по созданию таких технологий и систем в последнее десятилетие активно ведутся в России, в основном также силами институтов РАН. Для их эффективного использования в интересах различных потребителей и обеспечения информационной связности территории страны необходимо формирование и постановка комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла.

Создание специализированных систем дистанционного мониторинга.

В нашей стране в последнее десятилетие активно создаются и внедряются информационные системы дистанционного мониторинга. В настоящее время в России действует несколько специализированных региональных и федеральных систем дистанционного мониторинга, решающих различные научные и прикладные задачи.

Некоторыми из основных таких систем являются (см. рис. 14):

– Информационные системы дистанционного мониторинга природных пожаров на всей территории России [19, 21, 26] (<http://www.pushkino.aviales.ru>);

– Отраслевая информационная система мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства) (<http://osm.smislab.ru/>) ориентированную на мониторинг промысловых судов;

– Объединенная система работы с архивами спутниковых данных центров приема НИЦ «Планета» Росгидромета (<http://moscow.planeta.geosmis.ru/>) ориентированная на решение различных задач метеорологии и мониторинга окружающей среды;

– Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (<http://volcanoes.smislab.ru/>);

– Информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных научных задач

исследования Мирового океана (спутниковый сервис See The Sea (<http://ocean.smislab.ru/>)).

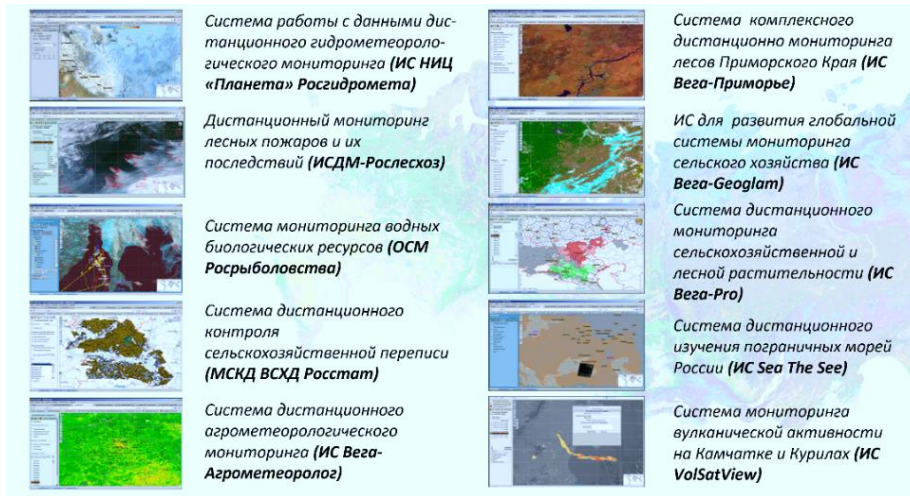


Рис. 14. Действующие информационные системы дистанционного мониторинга

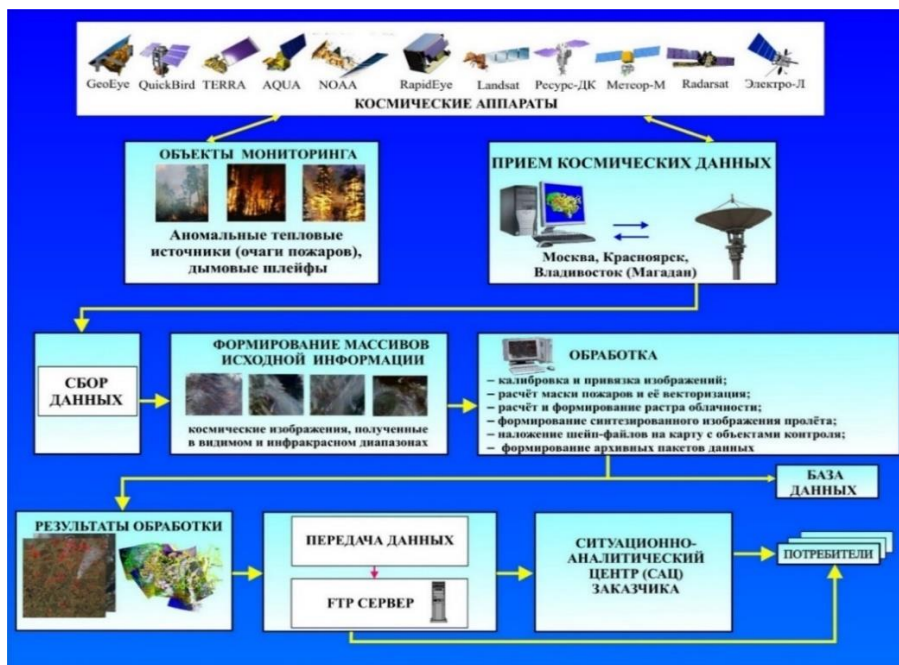


Рис. 15. Функциональная схема системы оперативного космического мониторинга природных пожаров

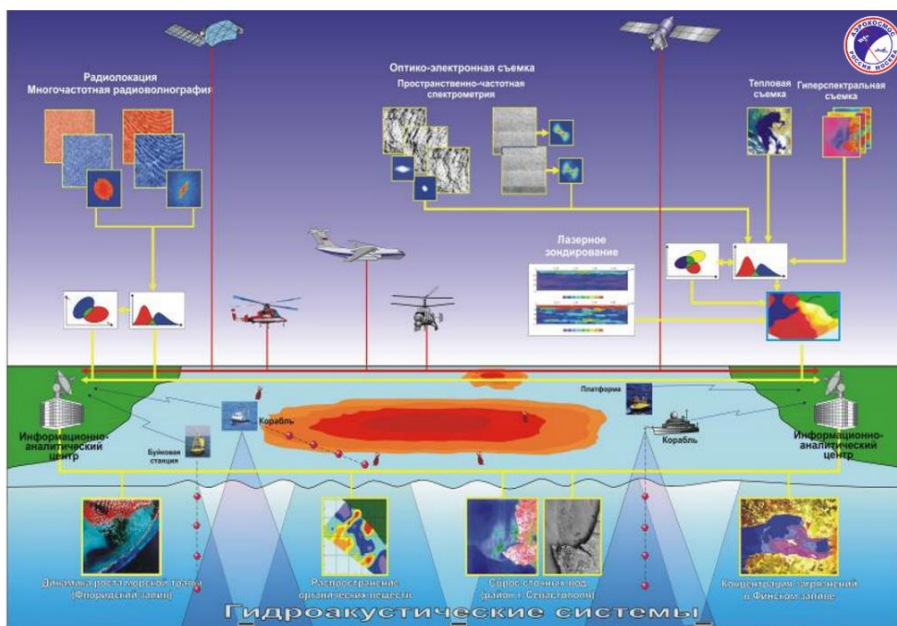


Рис. 16. Обобщенная схема комплексного мониторинга акваторий морей и океанов [6, 7]

Кроме того, в стране есть примеры организации комплексного мониторинга территорий. Например, на рис. 15 показана функциональная схема система оперативного космического мониторинга природных пожаров [19, 21, 22, 26], а на рис. 16 приведена обобщенная схема комплексного мониторинга морей и океанов, в которой помимо спутниковых исследований включены еще исследования с авиационных аппаратов, морские исследования и т.д. [6, 7].

На рис. 17 приведена функциональная схема региональной системы комплексного мониторинга прибрежных акваторий [41]. Система состоит из:

- космического сегмента, включающего различные спутники, данные которых применяются для решения задач мониторинга;
- наземного сегмента, включающего подсистемы сбора, обработки и хранения данных, обеспечивающего получение и анализ космических изображений, хранение и управление данными, а также формирование информационных продуктов;
- подспутникового сегмента, включающего буйковые станции, суда, стационарные платформы и дополнительные наземные источники информации, обеспечивающие получение данных о состоянии водной среды.

Отдельные сегменты системы связаны между собой средствами связи и передачи информации, приема космических данных включающими антенные комплексы, каналы FTP/HTTP, средства использования и хранения дисков DVD\HDD.

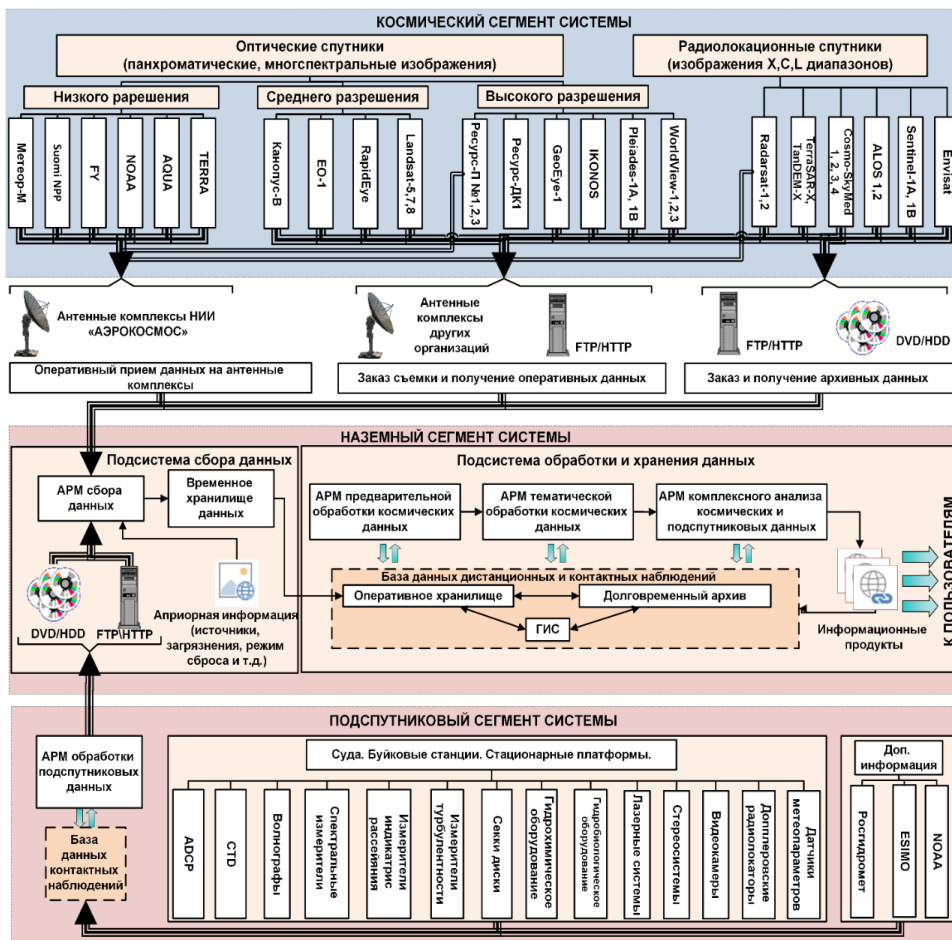


Рис. 17. Функциональная схема разработанного Экспериментального образца региональной системы наземно-космического мониторинга

Таким образом, в настоящее время имеется достаточно хорошая техническая и технологическая основа для создания системы объективного дистанционного мониторинга на территории России для обеспечения информационной связанности страны. Основной проблемой является отсутствие необходимого количества космических аппаратов, оборудованных современной аппаратурой ДЗЗ

Общая схема системы, потенциальные заказчики и потребители

Создаваемая информационная система должна решать две основные задачи:

1. Получение объективной оперативной информации для оценки и контроля состояния ресурсов (лесных, водных, сельскохозяйственных, минеральных и т.д.), развития регионов (энерговыведение, используемость

земель, строительство и т.д.), транспортной инфраструктуры (развитость, планирование развития, строительство), мониторинг и оценка последствий чрезвычайных ситуаций (предупреждение, оценка последствий, ущерб, ресурсы для ликвидации), экологии, контроль выполнения работ, субсидируемых из федерального бюджета и др.;

2. Предоставление инструментов для распределенной работы с информацией.

Таким образом, в первую очередь такая система будет востребована федеральными, и региональными органами власти, потому что она должна обеспечить объективный оперативный контроль состояния регионов, планирование и прогнозирование развития, эффективность управления регионами.

С другой стороны, система необходима и реальному сектору экономики для получения объективной информации при планировании работ и реализации инвестиционных проектов. При этом даже крупные компании обычно заинтересованы в получении информации о каком-то достаточно ограниченном наборе процессов и ресурсов и не заинтересованы в развитии комплексных систем мониторинга территорий. Кроме того, в ряде случаев компании не заинтересованы в появлении методов объективного контроля их деятельности на разных территориях.

В то же время в случае создания подобной системы бизнес, безусловно, будет ее потребителем. В первую очередь это касается крупных компаний, работающих и планирующих развитие бизнеса в различных регионах, банков, страховых компаний. Кроме того, компании, развивающие различные информационные сервисы, могут быть заинтересованы в участии в проекте, чтобы иметь в дальнейшем возможность расширять свои сферы услуг.

На рис. 18 показана общая схема предлагаемой информационной системы. Два нижних уровня этой системы представляют собой техническую и технологическую основу для разработки системы и уровень специализированных информационных систем (как уже существующих, так и вновь создаваемых или дорабатываемых). Третий уровень – это уровень сбора, интеграции и обработки информации.

Как было отмечено выше, современные системы ДЗЗ решают вполне конкретные прикладные задачи, как правило, они имеют достаточно много параметров, и для разных систем они разные. Для того чтобы полученные данные использовать для анализа и для принятия решения, необходимо отобрать ключевые параметры из каждой системы, провести между ними корреляцию и интеграцию информации и выдать ее на следующий уровень – аналитический, на котором интегрированная информация уже используется для оценки состояния территории страны, для прогнозирования и планирования развития.

Результаты работы на этом уровне уже могут быть использованы в качестве объективных материалов планирования и прогнозирования при принятии управленческих решений на разных уровнях исполнительной власти.



Рис. 18. Общая схема системы и создаваемые блоки (зеленым отмечены разрабатываемые блоки)

Научно-технические задачи и разрабатываемые технологии

Научно-технические задачи, на решение которых направлен проект создания информационной системы ДЗЗ могут быть сведены в четыре больших блока:

- разработка технологий дистанционного мониторинга всей территории России для получения объективных характеристик состояния ее регионов (состояние объектов инфраструктуры, динамика развития, состояние окружающей среды и природных ресурсов);

- создание информационной системы (включая техническую инфраструктуру), обеспечивающей оперативный сбор и обработку данных для получения объективных характеристик, необходимых для анализа и прогноза состояния регионов России;

- разработка и внедрение научно-обоснованных подходов использования информации, получаемой в результате оперативного дистанционного мониторинга, для принятия решений по управлению и развитию территорий страны;

- подготовка (обучение) специалистов нового поколения, способных эффективно внедрять и использовать разработанные методы, технологии и системы.

Решение этих задач потребует создания новых подходов для эффективной работы с данными ДЗЗ и методов использования получаемой на основе этих данных информации при принятии управленческих решений, в частности:

- технологий работы со сверхбольшими распределенными архивами данных ДЗЗ;

- новые автоматизированные (и автоматические) методы обработки данных, позволяющие получать количественные объективные характеристики различных объектов, процессов и явлений на основе данных ДЗЗ;

– моделирование развития различных процессов и явлений, основанное на использовании данных ДЗЗ, в том числе обеспечивающее получение информации для принятия управленческих решений;

– новые и уже внедренные информационные системы дистанционного мониторинга, многие из которых включены в циклы принятия решений;

– методы оценки динамики развития регионов на основе объективной информации, получаемой по данным ДЗЗ, включая критерии оценки эффективности управления регионами на основе аэрокосмической информации.

– методы использования данных, получаемых средствами ДЗЗ, для проведения оценок, планирования и прогнозирования развития регионов с учетом информации о имеющихся ресурсах (в том числе контроля и планирования транспортной инфраструктуры);

– методы объективной оценки ущербов от неблагоприятных природных и антропогенных воздействий на основе данных ДЗЗ.

Решение таких задач, обеспечивающих информационную связность территории страны на основе использования методов, технологий и средств ДЗЗ, возможно только при поставке и реализации Комплексной научно-технической программы и проектов полного инновационного цикла.

Заключение

Предлагаемая информационная система ДЗЗ обеспечит, в первую очередь, технологическую основу для получения объективной оперативной информации на всей территории страны. Она создаст новую технологическую базу для планирования контроля крупных инфраструктурных проектов. Это, безусловно, станет локомотивом развития технологий во многих областях, начиная от аэрокосмических методов и систем, картографии, геоинформационных систем и заканчивая, в том числе социальными и экономическими науками – новых методов планирования, управления, принятия решений и т.п.

Предложенная комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла по созданию информационной системы объективного дистанционного мониторинга территории страны является не только мультидисциплинарной задачей, но она является еще и мультиприоритетной в рамках Стратегии научно-технологического развития России. В частности, помимо решения задачи обеспечения связанности территории страны, при создании такой системы будут использоваться методы работы с большими данными.

Система может быть востребована и в рамках работ по повышению эффективности добычи углеводородного сырья и других природных ресурсов, переходу к высокопродуктивному агро- и аквахозяйству, по противодействию техногенным угрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства, а также с возможностью эффективного ответа российского общества на «большие вызовы».

Литература

1. Савин А.И., Бондур В.Г. Научные основы создания и диверсификации глобальных аэрокосмических систем // Оптика атмосферы и океана. 2000. №1, с. 46-62.
2. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. М: Научный мир, 2009. 692 с.
3. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф. Космический мониторинг тропических циклонов. М: Научный мир, 2014. 508 с.
4. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса // Под ред. Бондура В.Г. М.: Научный мир, 2012. 558 с.
5. Chu T., Guo X., Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review // Remote Sens. 2014, 6, 470-520; DOI:10.3390/rs6010470.
6. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы в современной океанологии. С. 55-117// В кн. Новые идеи в океанологии. Том 1. Физика, химия, биология. М.: Наука. 2004.
7. Бондур В.Г. Проблемы аэрокосмического мониторинга океана //Исследования в области океанологии, физики атмосферы, географии, экологии, водных проблем и геокриологии. Сб. докл. М.: ГЕОС, 2001, с. 87-94.
8. Методы компьютерной обработки изображений // Под ред. В.А. Соифера. М.: Физматлит, 2001. 782 с.
9. Бондур В.Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исследование Земли из космоса. 2014. №1, с. 4-16. DOI: 10.7868/S0205961414010035.
10. Аржененко Н.И., Бондур В.Г. Классификация различных типов подстилающей поверхности по результатам многоспектрального зондирования // Материалы VIII Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. Часть I. Томск. 1986, с. 174-177.
11. Бондур В.Г., Козленко Н.Н., Рыбакова Н.И. Возможности использования гиперспектральных и многоспектральных спутниковых данных для мониторинга загрязнений прибрежных акваторий океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Вып.3. Т.2, с. 30-36.
12. Природные опасности России. Под общей редакцией Осипова В.И., Шойгу С.К. М.; «КРУК», 2002, 245 с.
13. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю. Природные катастрофы и окружающая среда // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2012. № 1, с. 3-160.
14. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013, № 5, с. 50–61.
15. Бондур В.Г., Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Проблемы мониторинга и предсказания природных катастроф // Исследования Земли из космоса. 2005. №1, с. 3-14.
16. Акопян С.Ц., Бондур В.Г., Рогожин Е.А. Технология мониторинга и прогнозирования сильных землетрясений на территории России с использованием метода сейсмической энтропии // Физика Земли. 2017. № 1, с. 34-53.
17. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Механизмы формирования линейментов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // Исследование Земли из космоса. 2007. №1, с. 47-56.
18. Baklanov A.A., Bondur V.G., Klaić Z.B. and Zilitinkevich S.S. Integration of geospheres in Earth systems: Modern queries to environmental physics, modelling, monitoring and education // Geofizika. 2012. №29 (2). P. 1-4.

19. Бондур В.Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // Исследование Земли из космоса. 2011. № 3, с. 3-13.
20. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.Н. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
21. Бондур В.Г. Космический мониторинг эмиссий малых газовых компонент и аэрозолей при природных пожарах в России // Исследование Земли из космоса. 2015. №6. С.21-35. DOI: 10.7868/S0205961415060032.
22. Бондур В.Г., Гинзбург А.С. Эмиссия углеродсодержащих газов и аэрозолей от природных пожаров на территории России по данным космического мониторинга // Доклады академии наук. 2016. Т. 466. № 4, с. 473-477. DOI: 10.7868/S0869565216040186.
23. Lappalainen, H.K., Kerminen, V.-M., Petäjä et al. Pan-Eurasian Experiment (PEEX): Towards a holistic understanding of the feedbacks and interactions in the land-atmosphere-ocean-society continuum in the Northern Eurasian region // Atmos. Chem. Phys., 16, 14421-14461, DOI:10.5194/acp-16-14421-2016, 2016.
24. Бондур В.Г., Воробьев В.Е. Космический мониторинг импактных районов Арктики // Исследование Земли из космоса. 2015. №4, с. 4-24.
25. Lappalainen H., Petäjä T., Kujansuu J., Kerminen V., Skorokhod A., Kasimov N., Bondur V. et al. Pan Eurasian Experiment (PEEX) – a research initiative meeting the grand challenges of the changing environment of the northern pan-eurasian arctic- boreal areas // Geography. Environment. Sustainability. 2014. № 2(7). P. 13-48.
26. Бондур В.Г., Гордо К.А., Кладов В.Л. Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории северной Евразии по данным космического мониторинга // Исследование Земли из космоса. 2016. №6, с. 3-20. DOI: 10.7868/S0205961416060105
27. Вивчар А.В., Моисеенко К.Б., Панкратова Н.В. Оценки эмиссий оксида углерода от природных пожаров в Северной Евразии в приложении к задачам регионального атмосферного переноса и климата // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 3, с. 307–320.
28. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максютов Ш.Ш., МкКалум И., Лакида И.П. Влияние природных пожаров в России 1998-2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Доклады академии наук. 2011. Т. 441. № 4, с. 544-548.
29. Бондур В.Г., Савин А.И., Тикуннов В.С. Основные задачи в области устойчивого развития территорий // Материалы международной конференции «Устойчивое развитие территории: теория ГИС и практический опыт. Саратов (Россия), Урумчи (Китай). 2008, с. 3-7.
30. Баргалева С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России // М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
31. Bondur V.G. Satellite monitoring and mathematical modelling of deep runoff turbulent jets in coastal water areas // in book Waste Water - Evaluation and Management, ISBN 978-953-307-233-3, InTech, Croatia. 2011. P. 155-180. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/satellite-monitoring-and-mathematical-modelling-of-deep-runoff-turbulent-jets-in-coastal-water-areas>
32. Bondur V. Complex Satellite Monitoring of Coastal Water Areas // 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. ISRSE, 2005. 7p.

33. Бондур В.Г., Воробьев В.Е., Лукин А.А. Космический мониторинг состояния северных территорий, нарушенных нефтедобычей // Исследование Земли из космоса. 2016. №6, с. 35-44. DOI: 10.7868/S0205961416060014.
34. Исаев А.С., Барталев С.А., Лупян Е.А., Лукина Н.В. Спутниковое зондирование Земли – уникальный инструмент мониторинга лесов России // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 12, с. 1073-1079.
35. Бондур В.Г., Лёвин С.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Космический мониторинг транспортных объектов. – М.: МГУПС, 2015, 72 с.
36. Розенберг И.Н. Спутниковые и геоинформационные технологии в интеллектуальных системах управления // Железнодорожный транспорт. Специальный проект. – М.: РПК «Траст», 2013, №3, с. 28-33.
37. Розенберг И.Н. Применение спутниковых и геоинформационных технологий в развитии интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте // Труды Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте» ИСУЖТ-2012, Москва, 2012, с. 24-28.
38. Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5, с. 53-75.
39. Каганов В. И. Ветроэнергетический метод предотвращения развития тропического циклона // Письма в ЖТФ. 2006, Т.32, № 6, с. 354-359.
40. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. М.: Флинта Наука, 2009. 529 с.
41. Bondur V.G., Zamshin V.V. Comprehensive Ground-Space Monitoring of Anthropogenic Impact on Russian Black Sea Coastal Water Areas, in book K.V. Anisimov et al. (eds.), Proceedings of the Scientific-Practical Conference «Research and Development – 2016», 2018. P. 625-637.
42. Euroconsult, Brochure «Satellites to be built & launched by 2026», 2017, URL: <http://www.euroconsult-ec.com/research/satellites-built-launched-by-2026-brochure.pdf>.

Г.Г. Матишов¹

Приоритетные проблемы и задачи в освоении и использовании ресурсов Мирового океана, Арктики и Антарктики. Водные биоресурсы

Позвольте кратко проанализировать проблемы отечественной океанологии и перспективы освоения ресурсов Мирового океана.

Океанология – комплексная наука. Это гидрофизика, гидрохимия, это морская геология и гидробиология. Напомню также, что водные биоресурсы – это то, что в будущем в рационе питания будет у людей всей Земли, это то, что мы можем предложить нашим потомкам в пищу.

Сегодня только некоторые институты – Институт океанологии РАН, Тихоокеанский океанологический институт РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Институт Арктики и Антарктики, Мурманский морской биологический институт РАН и Южный научный центр РАН – продолжают совершать серьезные морские экспедиции.

Россия – морская держава. Морской лед – один из важнейших индикаторов климата и мореплавания изучен слабо. Разведки льда давно уже не делается, – все это делалось еще при Советском Союзе. Обращаю внимание на крайне низкую плотность сети метеостанций за Полярным кругом. Поэтому сделать прогноз практически очень трудно. Там нет надежной спутниковой и сотовой связи, медицины. Сегодня были доклады на космические темы, но спутники дают пока только грубую оценку толщины льда, и плотности льда, а ведь мы на их основе делаем оценку динамики климата.

Сегодня проблема логистики на трассе Севморпути беспокоит всех. Мы ждем возрождения портов и аэродромов (ведь у нас пространство в тысячи километров), Дмитрий Николаевич Кобылкин говорил, что Севморпуть – очень важная трасса. Жизнь и экономика Крайнего Севера очень зависят от масштабов грузоперевозок по Севморпути (в Советском союзе было порядка 7 млн., сейчас мы переходим на 8-9-10 млн. тонн перевозки в год, что, конечно же, радует) и, естественно, зависит от развития атомного флота.

Китай постепенно проникает, просачивается на арктическую линию Великого Шелкового пути, и довольно активно этим занимается. Вступает в кооперацию исследований с нашими институтами и делает сам много.

Фактически страны стараются закрепить свои интересы в зоне Северного Ледовитого океана. Россия в свою очередь расширяет научные и коммерческие нефтегазовые работы.

Совсем недавно в Казахстане наш Президент сказал, что мы обязаны обратить внимание на туризм. На повестке дня высокоширотный туризм на атомных ледоколах. Арктический туризм, который может быть международным, будет повышать наш престиж.

Водные биоресурсы. Суммарная биомасса Мирового океана порядка 40 миллиардов тонн, доля приличная. Самый богатый водными биоресурсами –

¹ Заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, научный руководитель Южного научного центра РАН и Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН, академик РАН

это, конечно, Тихий океан. Баренцево море – самый продуктивный промысловый водоем в Арктике, это всем хорошо известно.

Общемировой объем производства водных биоресурсов в прошлом году составил 172 миллиона тонн. Он складывается из морского промысла и товарной аквакультуры. Посмотрите, какой взлет в мире получила морекультура. Фактически удвоилось производство морепродуктов, достигнув 81 миллиона тонн в прошлом году. Это громадное количество.

Сегодня экономике нужны ориентиры, возможность опираться на разумные климатические шаблоны, чтобы ориентироваться, какой может быть урожай, временные циклы. И самое главное, нужен точный оперативный прогноз. В морских системах все взаимосвязано. Ничто не заменит прямых наблюдений в море, особенно во льдах. Только результаты биоресурсных и рыбопоисковых работ в морях и океанах могут служить наиболее надежным источником объективной информации о запасах биоресурсов в океанах и морях, начиная от рыб до зоопланктонов.

Наша страна традиционно является страной морского рыболовства. В СССР в морях и океанах ловилось до 11 миллионов тонн рыбы в год. Мы делили первое и второе места по улову рыбы. Сегодня наша страна потеряла статус мировой рыболовной державы. Мы производим (по прошлому году) 4,6 миллиона тонн рыбопродукции в год, в основном на Дальнем Востоке (более 3 миллионов тонн биоресурсов).

Мировой лидер по вылову рыбных ресурсов в естественной среде и продукции аквакультуры – это Китай (пятая часть мирового улова). Мы тут 5 процентов всего имеем. Есть над чем поразмышлять с точки зрения продовольственной безопасности, особенно на перспективу. В чем проблема, почему у нас такой спад? Она из основных проблем – это перелов. В Арктике жизнь палтуса, окуня, других рыб связана с гидрофронтами, затоком теплых вод Гольфстрима.

Только в море мы ловили до 3-4 миллионов тонн рыбы. Сокращение численности массовых промысловых рыб было предопределено наращиваем добычи биоресурсов. Картина добычи биоресурсов однотипна (рис. 1). Вначале переловили все ценные рыбы (на рис. 1 слева), а потом переловили кормовую базу этих рыб – мойву, бычки, сайку, кильку выловили, аквакультуру.

И при Советском Союзе, и сейчас все озабочены тем, как повысить плодородие наших водоемов – и морских, и озерных, и океанских. Шли двумя путями. Первый путь – это заводское воспроизводство молоди: делали заводы и пускали мальков. Второй путь – это интродукция: с Дальнего Востока на Азовское море и на Баренцево завозили горбушу, камчатского краба. Камчатский краб прижился. Сегодня это самый выгодный, самый прогрессивный с точки зрения бизнеса промысел. То есть были и какие-то успехи.

Морекультура при Советском Союзе и в современный период остается зачаточной. В 1917 году 170-180 тысяч тонн за год выращивалось. Это на

одного человека меньше одного килограмма в год. Это мизер. Тут есть над чем нам думать.

Основа успеха – наличие всей инженерно-технологической цепочки морекультуры. Необходим соответствующий масштаб отечественного производства комбикормов, без этого мы не двинемся.

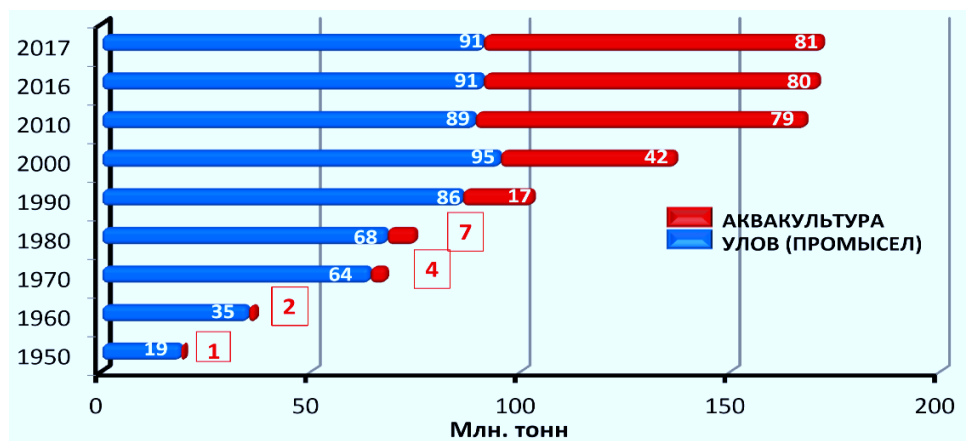


Рис. 1. Общемировые объемы добычи водных ресурсов

Какая наша перспектива? Сегодня ракообразные составляют лишь небольшую часть общего мирового улова. Обнаруживается также скромная роль морских водорослей и других донных растений среди продуктов моря. Численно преобладающая жизненная форма морской экосистемы – фитопланктоны, это самая большая биомасса, практически никак не используется в питании человека. Это как бы наши резервы.

В поиске морских биоресурсов Япония, Норвегия, Польша и другие морские страны двинулись в Южный океан, в кромки льдов Антарктиды. Это громадная акватория, мы раньше работали здесь, ловили нототению, клыкчака – это все тут ловили. Здесь уловы криля, мелких рачков (на рисунке слева) за один час травления составляли от 50 до 80-90 тонн. Это один-два товарных вагона за один час зоомассы. Есть квота. Общая квота – 9 миллионов тонн, половину ее изымают, а запасы – один миллиард тонн этих рачков.

Важно энергично расширять исследования биоресурсов Мирового океана и, конечно, вообще всех ресурсов. В морях и океанах есть немало неиспользованных запасов рыб и колоссальные запасы криля, калянуса и прочих мелких рачков.

Отечественный рыбный флот сокращается, морально устарел и физически изношен. Есть и современные суда, но их очень мало. Вот на Севере – есть, а в южных морях их практически нет. Чтобы найти богатые в промышленном отношении районы в океанах и морях, требуется новейший рыболовный флот, вспомогательный флот, может быть большой флот, который бы соответствовал мировым стандартам и был эффективным и экономичным.

Опираясь на Стратегию пространственного развития, которую мы обсуждаем, и безусловность перехода на новый технологический и научный уровень работ в Мировом океане, предстоит рассматривать пять важнейших направлений в судостроении на перспективу.

1. Ледовая платформа «Северный полюс», которую заложили для Института Арктики и Антарктики. Идет речь о том, что будет сделан город, который будет несколько лет дрейфовать в Арктике.

2. Крайне нужны суда для глубоководного бурения, как во всем мире. Без этого мы не докажем, где там континентальная кора. Для аквакультуры это маломерный москитный флот.

3. Предстоит увеличить потенциал исследовательского флота, в том числе для Российской академии наук, Минобрнауки России. Нам нужны новые корабли, более экономичные. Пришло время не то, что отказаться от очень дорогих судов водоизмещением порядка 7 тысяч тонн, которые требуют больших затрат, но модернизировать или построить новые экономичные суда водоизмещением 1,5-2,5 тысячи тонн, как, собственно, во всем мире это и принято. У нас в Академии наук такие корабли есть, но их мало, и они устарели.

4. Так как ситуация вокруг наших границ неприятная, предстоит расширить исследования океанографической картины во внутренних морях, под арктическими льдами, в зоне дрейфа айсбергов и битого льда, то есть там, где ходят торговый и подводный флот.

5. Наряду со стремительным развитием хайтека, надо поднять на новый уровень забытую науку – климатологию. В России еще в царские времена это было очень крупное, очень сильное направление науки. Это приблизит нас к точности прогноза изменения климата, точности прогноза погоды, предсказуемости урожая водных биоресурсов, так же, как и наземных. Это в интересах продовольственной и национальной безопасности нашей страны.

В отечественной океанологии очень много проблем. Надо нам опуститься в гидрокосмос и рационально взять все, что полезно для нашего государства.

Н.С. Бортников¹

Минеральные ресурсы Мирового океана: успехи и проблемы в освоении

Начиная с «бронзового века» металлы и их соединения играют важнейшую роль в жизни человечества. Развитие нашей цивилизации стало возможным благодаря тому, что человек научился их использовать в различных областях своей деятельности. Научно-технические достижения в XX веке привели к тому, что возросли объемы потребления металлов и число используемых металлов.

Рост населения планеты и развитие технологий вызвали безудержный рост потребления минерально-сырьевых ресурсов. Ежегодное производство металлов с начала прошлого века характеризуется экспоненциальным ростом, в результате чего за последние 60 лет в мире было произведено и использовано больше минерального сырья, чем за всю предыдущую историю человечества. Каждые 20-25 лет оно увеличивается вдвое.

Например, начиная с 1000 лет до Рождества Христова по 2012 г. было произведено 611 млн. т меди, одного из наиболее широко применяемого человеком металла, а с 2013 по 2037 гг. прогнозируется производство 638 млн. т. этого металла. Пик производства меди ожидается в 2030 г, после чего прогнозируется его спад и будет испытываться ее дефицит.

Некоторые металлы уже потребляются быстрее, чем производятся. В качестве примера можно привести золото. По данным Геологической службы США, более 75% этого металла было добыто, начиная с 1900 г. Средняя годовая добыча в 2003-2007 гг. составляла 2466 т. Пик добычи достигнут в 2013 г. и составил 3019 т. Потребление же золота в этот период достигло 3674 т в год. Дефицит был покрыт за счет вторичной переработки изделий, содержащих этот металл.

Развитие высокотехнологичных производств, необходимых для повышения уровня жизни современного общества, создание «зеленых» технологий потребует значительного роста потребления металлов.

Во второй половине XX, и в начале XXI века наметилась резкая монополизация добычи и рынка металлов. В настоящее время металлы платиновой группы главным образом производятся в Южной Африке (60%), России (30%) и Зимбабве (15%), более 85% редкоземельных металлов производится в Китае, более 70% бериллия, кобальта и ниобия приходится соответственно на долю США, Конго и Бразилии. Особая роль принадлежит Китаю, который производит более 50% 12 видов полезных ископаемых. Такое положение может привести к значительным рискам при поставке металлов и привести к геополитическим кризисам.

Таким образом, развитие минерально-сырьевого комплекса является краеугольным камнем в обеспечении экономической и оборонной безопасности и представляется главной задачей государства. Это будет

¹ Заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, научный руководитель Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, академик РАН

невозможно сделать без достаточных ресурсов металлов. Более того, встает вопрос, сколько нужно металлов для достижения и поддержания этого уровня в стране.

Решение этих проблем потребует развития минерально-сырьевой базы! Как эту проблему решить?

Один из путей ее решения – открытие новых месторождений полезных ископаемых и новых типов месторождений, пока неизвестных на территории России, но играющих важную роль в производстве металлов в других странах.

Второй – совершенствование технологий обогащения и извлечения металлов, в том числе попутных, на базе современных данных о минеральном и химическом составе руд.

Третий – «рециклинг» – повторное использование металлов.

Четвертый – извлечение металлов из «техногенных месторождений» – скоплений «забалансовых» руд, и хвостов переработки богатых руд.

Крайне благоприятным для обнаружения скоплений месторождений металлов представляется Мировой океан, покрывающий более 2/3 площади нашей планеты (рис. 1).



Рис. 1. Распространение твердых полезных ископаемых в Мировом океане

До открытия тектоники плит океаны считались большими бассейнами, в которых осаждались минералы, образовавшиеся при эрозии пород суши, переносимые в океан реками в виде частиц или растворенных соединений. Сотни скоплений трудно растворимых минералов, обладающих высокой плотностью (россыпей), известны на континентальных окраинах, но мало где они разрабатываются. Исключением являются прибрежные оловянные

россыпи на шельфе Таиланда и Индонезии, золотоносные пески в захороненных руслах рек на Аляске, Новой Зеландии и Филиппинах. Россыпные месторождения титана и редкоземельных металлов обнаружены в Бразилии, Индии, Китае и др. В Российской Арктике известны крупнейшие месторождения касситерита, а также вольфрама, золота и редких металлов.

Во второй половине 20-го века, благодаря многочисленным морским экспедициям, поддержанными правительствами СССР и России, США, Франции, Канады, Германии, Японии и др., и развитию современных технологий, включая подводные аппараты, на морском дне были обнаружены залежи железомарганцевых конкреций, кобальтоносных железомарганцевых корок и массивных сульфидных руд цветных металлов. Возникновение этих образований обусловлено процессами, происходящими в самом океане, включая обмен потоками тепла, флюидов и химических элементов между мантией, корой и океаном.

В 60-е годы были открыты железомарганцевые конкреции, размером от 1 до 12 см, сложенные оксигидрооксидами железа и оксидами марганца. В них преобладает оксид марганца тодорокит. Залежи конкреций покрывают огромные площади (до 70 %) морского дна на глубинах 4-6.5 км. Их образование связывается с отложением на твердых зародышах коллоидных частиц минералов железа и марганца из окружающей или поровой воды. Они образовались в течение миллионов лет (Hein, Koschinsky, 2014). Физико-химические свойства этих коллоидных частиц обеспечивают возможность извлечения из морской воды Ni, Cu, Co, Mo, Zr, Li, Y и редкоземельные металлы. В результате чего конкреции содержат повышенные их концентрации. Например, суммарная концентрация Ni, Cu и Co составляет более 2.5 мас. %.

Наиболее детально изучен район между разломами Кларион и Клиппертон в экваториальной зоне Тихого Океана (Rona, 2008). По предварительным оценкам, в этом регионе сосредоточено 7.5 млрд. т марганца, 340 млн. т никеля, 265 млн. т меди и 75 млн. т кобальта.

В 2001 году Международный орган по морскому дну предоставил группе «первопроходцев» (Китай, Япония, Россия, Корея, Франция, Германия) эксклюзивные 15-летние контракты для проведения разведки на участках морского дна, расположенных в восточном экваториальном Тихоокеанский регионе. Эти участки перспективны на наличие марганцевых конкреций и их возможной добычи в последующем (рис. 2).

Кобальтоносные железомарганцевые корки отлагались на поверхности морского дна. Минеральный состав железомарганцевых корок и железомарганцевых конкреций сходен. Они также способны извлекать из морской воды металлы, поэтому содержат значительные концентрации кобальта. Отложение корок протекает медленно, со скоростью 1-10 мм в миллион лет. В своем составе они содержат металлы, извлеченные из окружающей морской воды и металлы, поступающие на поверхность дна из гидротермальных источников (Rona, 2008). Наиболее благоприятными районами распространения корок являются вулканические островные дуги в

центральной части экваториальной зоны Тихого океана и подводные вулканические горы в экваториальной области Индийского океана. Их залежи располагаются на глубинах от 400 до 4000 м, а их мощность достигает 25 см. Преобладающим минералом в корках является вернадит, они также содержат аморфные оксигидрооксиды железа. Содержание кобальта в них изменяется от 0.5 до 2 масс. %, в среднем – 0.7 масс. %. Это даже выше, чем в рудах месторождений Центрально-Африканского Медного Пояса, где содержание кобальта составляет 0.1-0.5 масс. % (Cailteux et al. 2005). Присутствие в них таких металлов как кобальт, теллур, стронций, церий, молибден и др., активно используемых при производстве высокотехнологичных изделий, значительно повышает их экономическую привлекательность. Ресурсы кобальтоносных корок недостаточно хорошо изучены.



Рис. 2. Российские разведочные районы в Мировом океане

Однако предварительные оценки вселяют определенный оптимизм. В наиболее исследованной Прайм Краст Зоне (Prime Crust Zone) экваториальной зоны Тихого океана ресурсы кобальта оцениваются в 50 млн. т. Это значительно превышает резервы (количество металла, которое экономически выгодно извлекать в настоящее время) кобальта (7.1 млн. т, USGS, 2018) в месторождениях, эксплуатируемых в настоящее время на суше. Ресурсы теллура в этой же зоне оцениваются в 450 тыс. т, которые также значительно больше, чем резервы этого металла (31 тыс. т) в месторождениях, разрабатываемых на суше. Большая часть залежей кобальтоносных корок располагается в 200-мильной экономической зоне островных государств.

В западной части Северной Америки (территория США) эти ресурсы оцениваются в следующих объемах: 2.7 млн. т кобальта; 1.5 млн. т никеля; 74.1 млн. т марганца.

Таким образом, только ресурсы марганца (7.3 млрд. т) в разы превышают резервы этого металла 630 млн. т. в месторождениях на суше, а ресурсы кобальта составляют 83% (соответственно 45 % в конкрециях и 38% в корках) всех мировых запасов этого металла.

В конце 70-х прошлого века в Мировом океане был открыт еще один тип полезных ископаемых: гидротермальные массивные сульфидные руды цветных металлов, которые являются аналогами колчеданных руд на суше – основных источников меди, цинка, свинца, золота, серебра и ряда высоко технологичных металлов: индия, теллура, германия, кадмия, галлия, селена и висмута (рис. 3).



Рис. 3. Гидротермальное поле – район Ашадзе-1

Впервые они были обнаружены на Галапагосском рифте и Восточно-Тихоокеанском поднятии на 21° с.ш. на глубине 2 500 м. Они представляли собой сульфидные трубы, из которых изливались высокотемпературные (выше 350°C) флюиды, несущие частички сульфидов, получившие название «черные курильщики». С этими гидротермальными источниками ассоциируются оазисы уникальной фауны. За прошедшие 40 лет в Мировом океане было обнаружено более 380 полей, в которых располагаются высокотемпературные сульфидные постройки. Сульфидные постройки были обнаружены во всех четырех океанах. Они обычно представляют собой одиноко стоящие трубы или кластеры труб высотой от нескольких сантиметров и выше 40 м. Как правило, эти трубы разрушаются, в результате чего образуются холмы, увенчанные сульфидными трубами. Залежи располагаются на глубинах от 500 до 4 960 м. В одном из крупнейших полей Эндевер (Endevour) в Тихом океане обнаружена 581 постройка на протяжении почти 10 км.

Самая крупная постройка обнаружена на Срединно-Атлантическом хребте на 26° с.ш. (рис. 4). Она занимает площадь 5 x 5 км. В этом поле выявлена

активная холмообразная постройка диаметром в 250 м и высотой в 50 м. Постройки сложены сульфидами цинка: вюртцитом и сфалеритом, железа: пирротинном, пиритом и марказитом, сульфидами цинка и железа: халькопиритом и изокубанитом. Многочисленное опробование этих построек показало, что они сложены богатыми рудами, в которых содержание металлов (в мас. %) изменяется значительно: медь – от 0.2 до 13.2; цинка – от 3.1 до 17.4; свинца – от ≤ 0.2 до 8.0; железа – от 5.8 до 32.2. Они содержат также золото (0.4 – 12.9 г/т) и серебро (65 - >2000 г/т).

В рудах выявлено присутствие высоко технологичных металлов: индия, теллура, германия, кадмия и др. Ресурсы руд сульфидных построек в целом не велики: они изменяются от ≤ 0.01 до 10 млн. т. Исключением является залежь металлоносных сульфидных осадков, расположенная в Красном море. Ресурсы этой залежи оцениваются в объеме 90 млн. т.

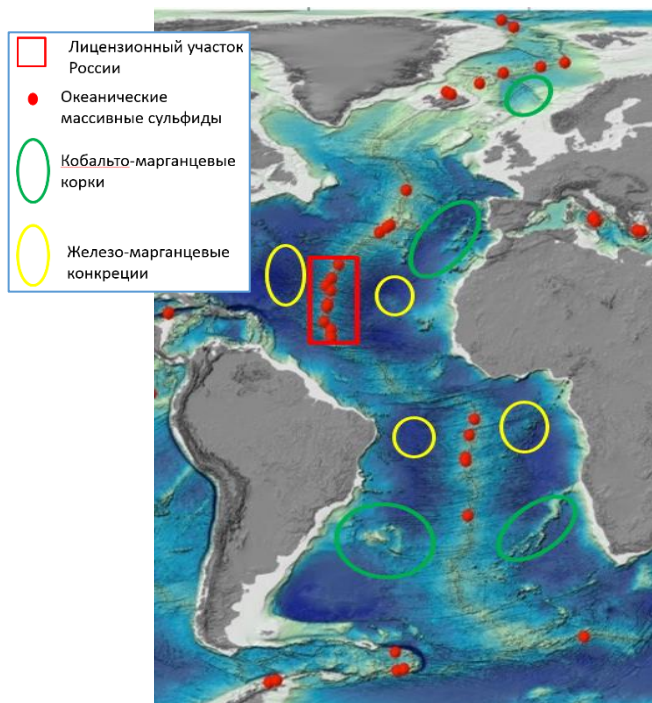


Рис. 4. Атлантический океан: распределение глубоководных рудных полезных ископаемых

Была предпринята попытка оценить ресурсы полиметаллических руд, залегающих на дне Мирового океана. По имеющимся оценкам, только в 62 рудопроявлениях ресурсы составляют около 50 млн. т. Вполне разумно предположить, что далеко не все существующие в глубинах Мирового океана гидротермальные поля обнаружены. Считается, что в них существует примерно 1 000 крупных гидротермальных полей с вероятными ресурсами около 600 млн. т.

Исследования российских геологов (Полярная морская экспедиция) внушают больше оптимизма. Ими на Срединно-Атлантическом хребте открыто десять гидротермальных полей. Вероятные ресурсы в них изменяются от 3 до 38.6 млн. т. В целом же в изученной площади сосредоточено около 100 млн. т. руды. Конечно, эти ресурсы значительно уступают запасам колчеданных руд в месторождениях, разрабатываемых на суше. Только на Урале известно более 100 месторождений, из которых 27 разрабатывается в настоящее время, причем в трех из них резервы руд составляют более 100 млн. т, а в одном – около 380 млн. т.

Подводя итоги, можно сказать, что в Мировом океане сосредоточены значительные ресурсы металлов, необходимых для развития высоко технологичных производств, а, следовательно, и для устойчивого развития общества. Думаю, что мы обладаем только предварительными знаниями о разнообразии и распределении минеральных ресурсов на дне Мирового океана, поскольку с некоторой степенью детальности изучено менее 5 процентов морского дна.

Освоение ресурсов Мирового океана связано с целым рядом проблем, включая геополитические, технологические и экологические. При ООН действует орган, который разрабатывает и регулирует правила использования ресурсов Мирового океана в будущем.

В ряде стран разработаны технологии, позволяющие вести разработку подводных рудных залежей. Некоторые компании, которые уже создали глубоководное оборудование для того, чтобы добывать руды, предложены схемы отбора или поднятия руд на суда, разработаны технологии обогащения сульфидных руд. Оборудование для сбора железомарганцевых конкреций на дне Мирового океана было создано и испытано бельгийской компанией. Главная проблема – это экологическая: с залежами руд ассоциируют оазисы уникальной фауны, которые необходимо будет сохранить при разработке руд.

Полагаю, что подводные разработки руд – это новая парадигма в добыче металлов в XXI в. Запасы континентальных месторождений необратимо истощаются и человечеству потребуются новые источники минерального сырья. Нам необходимо продолжить исследования минеральных ресурсов Мирового океана, чтобы улучшить наше представление об условиях их залегания, качестве, запасах, технологиях добычи и сохранения уникальных экосистем. Нам еще предстоит ответить на многие вопросы, в том числе на следующие.

Какие минеральные ресурсы сосредоточены на дне Мирового океана, достаточны ли они для обеспечения устойчивого развития нашей цивилизации, а если они достаточны, можно ли их вовлечь в эксплуатацию в ближайшее время?

Имеются ли технологические возможности для полного извлечения ценных компонентов без риска для окружающей среды?

Ответы на эти вопросы должны искасться в процессе реализации комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла.

В.Д. Каминский¹

Приоритетные проблемы и задачи освоения и использования углеводородных ресурсов Северного Ледовитого океана

Попытаюсь показать основные проблемы, связанные с поиском, обнаружением и использованием углеводородов, особенно в зоне центральной Арктики, которая попадает за пределы 200-мильной зоны, и там, где мы отстаиваем сейчас наши позиции по программе «Обоснование внешних границ».

Связанность территорий Российской Федерации в области освоения нефтегазовых ресурсов в значительной степени определяет тесную связь геологического строения шельфа Северного Ледовитого океана и арктических прибрежных территорий материка, как наиболее изученных и имеющих достаточно обширное бурение. Для более полного и оперативного использования оперативной геолого-географической информации при изучении шельфа необходимо создать единую интеллектуально-информационную систему геологических и географических знаний.

Современная количественная оценка ресурсов по нефтегазоконденсату территории континентального шельфа России, сделанная на 1 января 2017 г., подтверждает, что арктический шельф является главным резервом нефтедобывающей промышленности России в XXI веке. В его недрах содержится около 105 млрд. тонн в пересчете на нефтегазовый эквивалент.

Для нефтяных ресурсов арктического шельфа характерны следующие важнейшие особенности:

- крайняя неравномерность площадного распространения, основная часть извлекаемых ресурсов приурочена к недрам наиболее изученных западных арктических морей – Печорского, Баренцева и Карского;
- резкое доминирование в составе ресурсов свободного газа (84 процента) и скромная доля жидких углеводородов: нефти – 11 процентов, конденсата – 4 процента;
- преобладание ресурсов низшей категории (Д-1, Д-2) в связи с достаточно невысокой изученностью.

Отношение государств к изучению Арктики было стимулировано принятием Конвенции по морскому праву 1982 г., в которой каждое прибрежное государство может претендовать за 200-мильную экономическую зону, если доказывает продолжение континентальной природы вглубь океана. Россия ратифицировала Конвенцию в 1997 г. и через четыре года мы подготовили заявку и подали в комиссию ООН. Это была первая заявка из всех стран. Она обсуждалась в июле 2002 г. и были даны рекомендации по ее совершенствованию. После этого были выполнены дополнительные работы, которые включали в себя проведение сейсмических, магнитометрических, метрических и других исследований в рамках подготовки материалов для нового варианта нашей заявки в комиссию ООН по границам суши.

¹ Генеральный директор «ВНИИ Океангеология» им. И.С. Грамберга, член-корреспондент РАН

Был составлен ряд очень важных карт для подготовки заявки. В частности, была составлена карта аномалий магнитного поля Арктики совместно с норвежскими и канадскими коллегами. Причем, в самой центральной Арктике мы использовали более 2 млн. погонных километров отечественных съемок. Здесь мы имеем хорошие приоритеты в составлении магнитно-метрических данных.

Была создана гравиметрическая карта, которая базируется на 60 тыс. первичных посадок на лед (это были высокоширотные воздушные экспедиции), плюс мы использовали океанометрические данные до 80 градуса, которые значительно уточнили эту карту.

На основе интерпретации всех сейсмических материалов была получена карта осадочного чехла, которая является основой не только для геологических построений, но и для оценки ресурсных составляющих шельфа.

Были выполнены работы по подготовке материалов, доказывающее прослеживание континентальной коры в глубину океана (вдоль хребта Менделеева, 2005 г.). Показано, что практически все слои продолжают в океан. Это очень важно для заявки, и это является одной из основных наших доказательных позиций. Я руководил этими работами в 2005 г. Были взрывы, источники сейсмических сигналов в дальней зоне, на расстоянии от 1.200 км. То же самое было сделано в 2007 г. Это от Новосибирских островов до хребта Ломоносов. Эти работы тоже являются важным аргументом для нашей претензии на удовлетворение заявки.

Составлена карта мощности земной коры, которая базируется на самых современных методах расчетов гравитационного поля и опирается на сеть сейсмических профилей.

В результате был подготовлен новый вариант заявки, которая в августе 2015 г. была передана нами в комиссию для дальнейшего прохождения.

На рис. 1 показаны претензии пяти арктических государств на эту территорию. Причем, наверное, здесь есть общее понимание. Недавно у нас был семинар с представителями всех арктических государств. Оказалось, что подходы к геологическому строению у нас одинаковые и работали мы на одном технологическом уровне, что очень важно. Я горд за нашу российскую науку, что мы здесь абсолютно не отстаем в области проведения таких исследований.

Интерпретация докайнозойских комплексов осадочного чехла базируется на привязке основных несогласий сейсмических разрезов. Нами была разработана технология двухсудового варианта исследований, когда ледокол идет впереди, а сзади сейсмическое судно с заглублением под лед сейсмокос. И были получены прекрасные разрезы самого современного уровня, причем в ледовых условиях, которые показали очень приличную мощность.

Второе – поисковый этап в нефтегазовых районах, чтобы оконтурить определенные районы, имеющие достаточно продуктивную толщу, которая может быть вовлечена в обработку данных. Предполагается, что в районах за пределами 200-мильной зоны, ожидаемые ресурсы нефти и газа в пересчете на эквивалент нефтяной составляет около 8-11 миллиардов тонн.

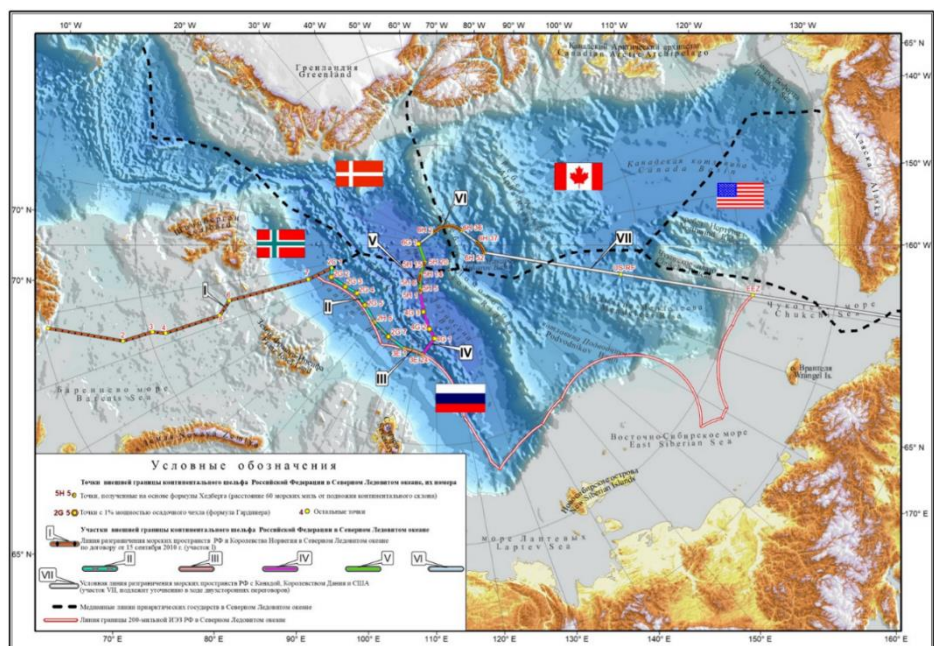


Рис. 1. Медианные линии приарктических государств в Северном Ледовитом океане

Это очень существенный объем. Это способствует поддержанию необходимых объемов добычи углеводородов в Российской Федерации, что, безусловно, является важной стратегической задачей.

Наверное, следовало бы создать программу, которая должна предусматривать полноценное завершение регионального этапа работ, потому что сейчас многие участки уже отданы под лицензии «Роснефти» и «Газпрому». Поэтому нужна координирующая общая программа, чтобы завершить этот этап работ.

При этом значительная часть углеводородов предназначена для внешних рынков. В то же время следует отметить, что себестоимость добычи углеводородов в Арктике критично высока. Конкурировать на этих рынках приходится с продукцией, добываемой в несопоставимых климатических и горно-биологических условиях.

Важно учитывать, что серьезное давление на рынки энергоносителей уже в краткосрочной перспективе будет оказывать развитие новых технологий добычи сланцевого газа, возобновляемой энергетики и так далее, что в совокупности определяет высокие экономические риски в освоении углеродных ресурсов, в том числе, в Арктике.

На рис. 2 показан Севморпуть. Думаю, что с его использованием будут развиваться арктические территории, как связанное единое целое, в том числе с минерал-содержащими узлами. Это мы видим на примере Саббиты, где построили комбинаты, создана морская инфраструктура, и это подтягивает

жилищные и другие проблемы. Это развитие вообще всего региона. Так же, возможно, это и с Тикси. И это подтягивает энергетику. Железная дорога почему туда подтягивается? Потому, что там есть мощный узел по сжижению газа.



Рис. 2. Северный морской путь: сегодня и завтра

Все это требует проведения комплексных исследований арктических территорий и Мирового океана, в том числе Северного Ледовитого океана.

Раньше у нас была прекрасная программа «Мировой океан», которая объединяла различные ведомства, и, конечно, институты Российской академии наук. Эта программа была практически реализуемая, как для познания природы океана вообще, так и для оценки его ресурсов минеральных и биологических. Однако, сейчас у нас нет такой программы.

В связи с вышесказанным становится актуальным формирование комплексной научно-технической программы, направленной на занятие и удержание лидирующих позиций нашей страны в освоении и использовании Мирового океана и Арктики. Считаю, что нам необходимо в рамках предлагаемой комплексной программы сформировать ряд комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла от проведения фундаментальных и поисковых научных исследований, до разработки технологий, создания аппаратуры для изучения Арктики и Океана в целом, а также освоения их богатейших ресурсов. Должна быть сформирована очень серьезная кооперация для реализации такой комплексной научно-технической программы от академических и отраслевых институтов до предприятий промышленности и организаций реального сектора экономики.

Это очень важно.

И.Н. Розенберг¹

Современные подходы к использованию ГИС в задачах цифровизации железнодорожного транспорта

Одним из важнейших направлений реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в области обеспечения пространственной связности территории страны является занятие лидирующих позиций в области транспортно-логистических систем. Это требует широкого использования цифровых и геоинформационных технологий.

Принятый Правительством Российской Федерации в июле 2017 года курс на построение «Цифровой экономики» Российской Федерации, поставил и перед отраслевой наукой задачи цифровизации железнодорожного транспорта, как одной из важнейших инфраструктурных составляющих развития и конкурентоспособности отечественной экономики.

Ответом отрасли на соответствующие вызовы стал принятый в декабре 2017 года проект «Цифровая железная дорога» (ЦЖД), наметивший ключевые направления цифровизации и основные сквозные технологии, обеспечивающие достижение намеченных целей [1].

В качестве ключевых наукоемких составляющих для формирования ЦЖД были определены: искусственный интеллект и нейротехнологии; технологии машинного обучения; системы «больших данных» и распределенного реестра; технологии промышленного интернета вещей; компоненты робототехники и сенсорики, включая беспилотный железнодорожный транспорт; технологии беспроводной связи; технологии виртуальной и дополненной реальностей и т.д. [2].

Особое место в общей программе инновационного технологического обеспечения ЦЖД отведено современным геоинформационным технологиям (ГИС-технологии) и разрабатываемым на их основе функциональным приложениям для обеспечения бизнес-деятельности и технологического развития ОАО «РЖД» [12].

Именно ГИС-технологии, интегрированные с современными глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS/BeyDow) и средствами беспроводной цифровой связи, являются наиболее эффективным инструментом цифрового описания сети железных дорог ОАО «РЖД», их пространственной интеграции в международные транспортные коридоры, а также контроля и управления цепями поставок грузов и пассажиропотоками в пространстве и во времени.

Развитие приоритетных областей применения ГИС-технологий при построении ЦЖД исходило из практики накопленного отечественного и мирового опыта «цифровизации» железнодорожного транспорта.

За последние годы успешно пройден путь от начальной стадии внедрения ГИС-технологий, на которой использованы возможности хранения

¹ Генеральный директор АО «НИИАС» ОАО «Российские железные дороги», доктор технических наук, профессор

информации о реальном мире в виде набора тематических слоев, которые созданы на основе результатов обработки разнородной информации и объединены на основе географического положения (рис. 1). Этот простой и очень гибкий подход доказал свою ценность при решении разнообразных реальных задач: для отслеживания передвижения подвижного состава и грузов по сети железных дорог, отображения реальной обстановки и планируемых мероприятий на железнодорожной инфраструктуре [3].

При построении Цифровой железной дороги ГИС-технологии использованы в задачах интеллектуализации управления перевозочным процессом и станционной работой, движением подвижного и тягового состава, обеспечением безопасности движения и управления железнодорожной инфраструктурой, формирования предпосылок для перехода к беспилотному железнодорожному транспорту.



Рис. 1. Московское центральное кольцо

При этом мы рассматривали возможности современных ГИС-технологий в совокупности с базовыми технико-технологическими решениями интеллектуальных транспортных систем (ИТС), спутниковыми технологиями позиционирования и мониторинга, средствами беспроводной мобильной цифровой связи и Интернета-вещей в качестве ключевых драйверов для перестройки железнодорожного транспорта под требования Цифровой экономики.

Основным прорывным направлением применения указанных инновационных технологий был мы определен комплекс работ по созданию

интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ, рис. 2). В этом проекте ГИС-технологии применяются для формирования единого координатно-временного и информационного пространства на сети железных дорог ОАО «РЖД»; обеспечения пространственной и временной синхронизации всех реализуемых на сети дорог бизнес-процессов; полной ситуационной осведомленности диспетчерского аппарата; реализации объектно-ориентированных моделей и эффективных алгоритмов поддержки принятия решений и технологических процессов с использованием геопространственных данных в режиме реального времени на основе программно-аппаратных средств комплексных автоматизированных рабочих мест ИСУЖТ [4].

Развертывая работы по указанным направлениям, мы делали ставку на комплексировании достижений отечественной фундаментальной науки и прикладных разработок отраслевых институтов с безусловным учетом опыта мировых исследовательских центров в данной сфере деятельности.



Рис. 2. Ситуационный центр ОАО «РЖД»

Совместно с ведущими институтами РАН, включая ИПИ РАН, ИКИ РАН, ВЦ РАН и др., используя поддержку в виде грантов РФФИ, удалось провести серьезный комплекс теоретических исследований и прикладных разработок применительно к приоритетным задачам железнодорожной отрасли. Это позволило конструктивно использовать компетенции фундаментальной науки и реальные возможности отраслевой науки, действующей в условиях постоянного давления в части повышения уровня запросов конечных потребителей со стороны ОАО «РЖД» и Минтранса России и ограничений в части доступной технико-технологической базы для их реализации.

В результате проведенных работ по данному направлению были разработаны:

- научные основы когнитивного геоинформационного управления сложными распределенными организационно-техническими системами на основе применения сетцентрической концепции, платформенно-иерархических и когнитивных моделей [5];

- технологии организации геокодирования и комплексной обработки геоданных с номинальными, порядковыми, интервальными и лингвистическими переменными [6];

- научные основы управления инфраструктурой железных дорог на основе методов решения многокритериальных задач с нечеткими и лингвистическими исходными данными с применением геоинформационных и спутниковых навигационных систем [7];

- научные основы и методология применения координатных моделей траекторий движения подвижного состава с использованием теории взвешенных метрических и нечетких графов с целью повышения эффективности использования спутниковой навигации на основе ГЛОНАСС для управления движением и обеспечения безопасности движения поездов [8];

- теоретические подходы, математические модели и алгоритмы адаптивной навигации на основе применения спутниковых навигационных данных и цифровых моделей железнодорожного пути, нашедшие применение при массовом внедрении бортовых устройств безопасности с навигационными модулями ГЛОНАСС/GPS на тяговом и моторвагонном подвижном составе ОАО «РЖД» [9] (рис. 3).



Рис. 3. Комплексная система обеспечения безопасности на базе спутниковой навигации и цифровых средств радиосвязи

На основе проведенных исследований и разработок применительно к первоочередным задачам построения ЦЖД в настоящее время реализованы:

- системно-технические решения по интеграции спутниковых технологий высокоточного позиционирования на основе ГЛОНАСС и многоуровневой геоинформационной системы для целей формирования единого координатно-временного пространства сети российских железных дорог;

- возможность накопления геоинформационных ресурсов с использованием единого координатного пространства, генерализации карт, изменения проекций отображения пространственной информации, процедур геокодирования;

- технические решения и аппаратно-программные средства для формирования высокоточных цифровых моделей пути (ЦМП) для решения задач адаптивной навигации подвижного состава и содержания железнодорожных путей в проектном положении;

- получение цифровых 3-D моделей участков территорий, позволяющих наглядно представить проектируемые и реконструируемые объекты, производить моделирование, например, последствий чрезвычайных и аварийных ситуаций, анализ рисков возникновения опасных природно-техногенных явлений и потенциальных угроз для железнодорожной инфраструктуры;

- пилотные образцы бортовых систем беспилотного управления железнодорожным подвижным составом;

- комплексы автоматизированных рабочих мест, предназначенных для различных подразделений ОАО «РЖД», обеспечивающих высокую степень иллюстративности и наглядности геопространственного представления данных для принятия управленческих решений, обладающих свойствами масштабируемости, многослойности, многовариантности отображения с возможностью удаленного доступа к требуемым геоинформационным ресурсам, в том числе и WEB-доступа, с соблюдением необходимых требований по киберзащищенности и информационной безопасности.

Принципиальной особенностью внедряемых в ОАО «РЖД» в настоящее время ГИС-технологий является построение их на отечественном программном обеспечении без использования лицензионных соглашений с иностранными производителями.

Схема картографического обеспечения нашей ГИС РЖД реализована под контролем Военно-топографического управления Генерального штаба ВС России и Росреестра. Вся топология сети железных дорог привязана к государственным системам координат, установленных действующим законодательством РФ, а также и к специальной железнодорожной линейной системе координат, легитимность которой определена соответствующими постановлениями Правительства РФ.

Такие системно-технические решения, увязанные с действующей отечественной нормативной правовой базой, принципиально отличают ГИС РЖД от различных появляющихся на рынке разработок в данной сфере деятельности.

Технико-технологические решения, принятые в ГИС РЖД, позволяют реализовывать, как навигационно-информационное обеспечение эксплуатации подвижного состава в принятых геоцентрических системах координат (ПЗ-90.11 или международного аналога WGS-84), так и геоинформационное обеспечение работ при проектировании, строительстве и содержании объектов инфраструктуры в местных железнодорожных системах координат (МЖСК) с безусловным соблюдением всех действующих требований в данной сфере деятельности [10].

ГИС РЖД полностью гармонизирована с действующей системой нормативно-справочного обеспечения ОАО «РЖД». Она имеет утвержденные схемы информационно-коммуникационного взаимодействия с уполномоченными центрами федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ), включая Министерство обороны России, МЧС России, АСУ транспортного комплекса (АСУ ТК) Минтранса России и другими системами, а также с функциональными АСУ причастных бизнес-блоков и организаций холдинга.

В соответствии с намеченным комплексом мероприятий в рамках принятых программ «Цифровой транспорт и логистика» Минтранса России и «Цифровая железная дорога» ОАО «РЖД», являющихся составными частями государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» на период до 2024 года, представляется необходимым продолжить в кооперации с ведущими институтами РАН исследования и разработки в части:

- дальнейшего развития сквозных технологий искусственного интеллекта, включая технологии когнитивного анализа геопространственных данных и мультиагентного управления и диспетчирования геоинформационных ресурсов в распределенных системах с обеспечением семантической геоинтероперабельность, как основа интеллектуализации корпоративного доступа к геоданным;

- развития интеллектуальных технологий создания цифровых моделей пути (ЦМП) в виде формализованного математического и семантического описания геометрических характеристик и пространственного положения железнодорожных путей и других объектов инфраструктуры в едином высокоточном координатном пространстве с использованием результатов обработки данных мобильного лазерного сканирования, аэрокосмической информации, геодезических измерений;

- создания технико-технологических решений для управления беспилотным железнодорожным транспортом в условиях реализации станционной работы и движения по магистральным направлениям железных дорог;

- создания сервисов геоинформационного обеспечения деятельности ОАО «РЖД» данными спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [13, 14], в том числе из формируемого базового покрытия «Цифровая Земля», а также путем организации оперативной спутниковой съемки, съемки беспилотными авиационными комплексами [11] с использованием

специальных методов и технологий обработки и интерпретации аэрокосмических изображений [14, 15].

В практическом плане речь идет о создании единой сервисной геопространственной информационно-телематической платформы ОАО «РЖД», обеспечивающей формирование и актуализацию в режиме реального времени единого информационного поля геопространственных данных, содержащего информацию о характеристиках инфраструктуры, параметрах движения и работы подвижных объектов на сети железных дорог. Эта платформа создается на основе использования данных ГНСС ГЛОНАСС, аэрокосмической информации и комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта [16].

На основе указанной платформы должно быть реализовано развитие геопространственных сервисов для всех заинтересованных пользователей, как в структуре транспортного комплекса, так и иных причастных отраслях Цифровой экономики РФ с учетом условий импортонезависимости и кроссплатформенности, с обеспечением высокого уровня клиентоориентированности и киберзащищенности.

Реализация предлагаемого комплекса прикладных разработок с использованием достижений фундаментальной науки в соответствии с целями проекта Цифровая железная дорога позволит уже в ближайшие годы выйти на качественно новый уровень создания систем с высокой надежностью и эффективностью функционирования, обеспечить приведение уровня качества транспортных услуг и безопасности перевозок в соответствие с требованиями населения и экономики, а также лучшими мировыми стандартами.

В связи с этим необходимо проведение комплексов фундаментальных и поисковых исследований, а также обеспечение эффективного использования их результатов для разработки технологий и их внедрения в практику российских железных дорог. Поэтому актуальным становится разработка и реализация комплексных проектов, направленных на информационное обеспечение деятельности ОАО «РЖД», с использованием ГИС- технологий. Эти проекты могут быть интегрированы в комплексную научно-техническую программу полного инновационного цикла по данному приоритету.

Литература

1. Розенберг И.Н. Стратегические направления работ ОАО «НИИАС» в обеспечении инновационного развития ОАО «РЖД» на период 2017-2020 гг. // Наука и технологии железных дорог. 2017. Т. 1. № 1 (1), с. 2-13.

2. Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н. Интеллектуальные системы управления движением поездов // Экономика железных дорог, 2016, №8.

3. Розенберг И.Н. Спутниковые и геоинформационные технологии в интеллектуальных системах управления // Железнодорожный транспорт. Специальный проект. – М.: РПК «Траст», 2013, №3, с. 28-32.

4. Розенберг И.Н. Единая система координатно-временного обеспечения // Железнодорожный транспорт. – М.: РПК «Траст», 2013, № 6, с. 42-43.

5. Розенберг И.Н. Применение спутниковых и геоинформационных технологий в развитии интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте //

Труды Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте» ИСУЖТ-2012, Москва, 2012, с. 24-28.

6. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Семантическая геоинтероперабельность – основа интеллектуализации корпоративного доступа к геоданным// Труды Третьей научно-технической конференции «Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте». Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2014, Москва, 2014, с.131-135.

7. Розенберг И.Н. Системная интеграция базовых технологических элементов ИСУЖТ в задачах управления инфраструктурой и обеспечения безопасности движения // Труды Третьей научно-технической конференции «Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте». Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2014, Москва, 2014, с.110-116.

8. Левин Б.А., Розенберг И.Н., Матвеев С.И. Графы и спутниковая навигация на графах // Учебное пособие. - М.: ВИНТИ, 2013, 208 с.

9. Левин Б.А., Розенберг И.Н., Матвеев С.И. Теория адаптивных систем навигации и управления железнодорожного транспорта на основе глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС и навигационных функций// Учебное пособие. - М.: ВИНТИ РАН, 2014, 110 с.

10. Бондур В.Г., Лёвин С.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Космический мониторинг транспортных объектов. – М.: МГУПС, 2015, 72 с.

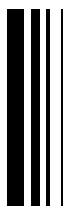
11. Савин А.И., Бондур В.Г. Научные основы создания и диверсификации глобальных аэрокосмических систем // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т.13. №1, с. 46-62.

12. Бондур В.Г., Савин А.И., Тикунов В.С. Основные задачи в области устойчивого развития территорий // Материалы международной конференции «Устойчивое развитие территории: теория ГИС и практический опыт. Саратов (Россия), Урумчи (Китай). 2008, с. 3-7.

13. Бондур В.Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исследование Земли из космоса. 2014. №1, с. 4-16.

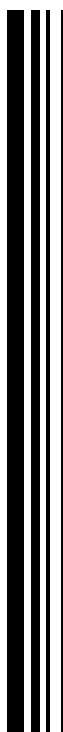
14. Аржененко Н.И., Бондур В.Г. Классификация различных типов подстилающей поверхности по результатам многоспектрального зондирования // Материалы VIII Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. Часть I. Томск. 1986, с. 174-177.

15. Розенберг И.Н., Соколов С.В., Уманский В.И., Погорелов В.А. Теоретические основы тесной интеграции инерциально-спутниковых навигационных систем. - М.: Физматлит, 2018, 312 с.



П Р И О Р И Т Е Т **НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

**«Переход к персонализированной медицине,
высокотехнологичному здравоохранению
и технологиям здоровьесбережения,
в том числе за счет рационального применения
лекарственных препаратов, прежде всего
антибактериальных»**



Председатель Совета по приоритету –
академик РАН МАКАРОВ А.А.

С.А. Краевой¹

Перспективные направления развития отечественного здравоохранения

Прежде всего, позвольте передать самые теплые слова приветствия и пожелания успешной работы от имени министра здравоохранения, члена-корреспондента РАН Скворцовой Вероники Игоревны. К великому сожалению, она не смогла сегодня присутствовать ввиду сложившихся объективных обстоятельств. Поэтому поручила мне эту почетную миссию сегодня выступить и с приветственным словом, и с докладом.

И начать я хочу все-таки как чиновник, наверное, с последнего программного документа – это майский Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» в котором поставлены высокие ориентиры, в том числе в сфере здравоохранения.

Напомню, что одной из основных стратегических целей этого Указа является увеличение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет к 2024 году и до 80-плюс к 2030 году. Сейчас эта ожидаемая продолжительность жизни составляет почти 73 года. И, соответственно, целевые показатели указа в сфере здравоохранения являются снижением прежде всего смертности трудоспособного населения с 473 до 350 случаев на 100 тысяч населения. То есть почти на 25%.

Ну и, конечно же, уделяется первостепенное внимание основным причинам смерти – это сердечно-сосудистым и онкологическим заболеваниям. И здесь также стоят большие задачи по снижению смертности от болезней системы кровообращения с 587 случаев до 450 на 100 тысяч населения и смертности от новообразований – с 200 случаев до 185 на 100 тысяч населения.

Поставленные задачи можно выполнить только с применением комплексного подхода, одной из составляющих которого является внедрение современных методов профилактики, диагностики, лечения и реабилитации, что является одним из приоритетов сегодняшнего здравоохранения.

Для решения задач и достижения цели Указа Президента сформирован Национальный проект «Здравоохранение». Сегодня можно выделить несколько трендов развития современного здравоохранения. Это, прежде всего, конечно же, персонализация медицины, информатизация и цифровизация здравоохранения, а также биомедицинские технологии.

Персонализация медицины неразрывно связана с достижениями науки, техники и технологии, что нашло свое отражение в перечне приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, – переход к персонализированной медицине, высокотехнологическому здравоохранению и технологиям здоровьесбережения.

В целом сегодня медицина и здравоохранение претерпевают глобальные изменения. Происходит, по сути дела, революционный скачок и переход от

¹Заместитель министра здравоохранения Российской Федерации, доктор медицинский наук

медицины лечения к медицине так называемой «4П-медицине» – персонализированной, профилактической, превентивной и партисипативной.

Весной этого года приказом Минздрава России была утверждена концепция предиктивной, превентивной и персонализированной медицины, в которой заложены основы и принципы ее развития. Это:

- развитие индивидуальных подходов к пациенту, в том числе до появления у него заболевания;

- досимптоматическое прогнозирование развития заболеваний и их профилактика, повышение эффективности традиционных методов лечения путем персонализации их применения;

- применение индивидуально производимых персонализированных средств лечения.

В реализации этих направлений существенную роль играют научные исследования, являющиеся драйвером развития новых технологий в интересах практического здравоохранения.

Сегодня в число приоритетов медицинской науки должно входить:

- установление молекулярных механизмов фотогенеза заболеваний;

- поиск новых молекулярных мишеней;

- создание животных моделей заболеваний человека, в том числе с применением технологий направленного редактирования генома;

- разработки доклинических исследований лекарственных препаратов для их лечения;

- выявление генетических особенностей и предрасположенностей к развитию заболеваний и ассоциированных с ними значимых факторов риска;

- разработка соответствующих мер профилактики, поиск значимых информативных биомаркеров заболеваний, преимущественно неинвазивных;

- персонализация лечения, в том числе в части применения таргетных лекарственных препаратов, и выбор оптимальных терапевтических схем.

Среди направлений технологического развития в интересах здравоохранения можно отметить технологии химерных антигенных рецепторов, биомедицинские клеточные продукты, онколитические вирусы, персонализированные противоопухолевые терапевтические вакцины, таргетная иммунотерапия на основе моноклональных антител, в том числе оригинальные ингибиторы иммунных точек контроля, разработка средств направленной доставки лекарственных препаратов.

Еще одним перспективным направлением в российском здравоохранении должно стать внедрение систем дистанционного мониторинга состояния здоровья, особенно для пациентов из групп риска, с использованием персональных гаджетов.

Важное значение придается технологиям искусственного интеллекта и основанным на них системам поддержки принятия врачебных решений. К числу приоритетов следует отнести и робототехнику, разработку киберпротезов и человеко-машинных интерфейсов.

В целом большие перспективы связываются с биомедицинским направлением. Это биосовместимые матрицы, в том числе с

программированной биологической активностью, клеточная и тканевая инженерия, а также индивидуальные 3D эндопротезы, созданные с применением аддитивных технологий.

Отдельным большим направлением развития здравоохранения должны стать:

- применение цифровых технологий;
- активное развитие системы искусственного интеллекта, как системы поддержки принятия врачебных решений;
- формализация и активизация в сложных областях диагностики.

Активно развивается такое перспективное направление, как дистанционные методы диагностики, а также мониторинг здоровья пациентов, необходимость внедрения которого в практическое здравоохранение отдельно отмечена в майском Указе Президента Российской Федерации.

В сегодняшних условиях перед Министерством здравоохранения Российской Федерации стоит задача обеспечить скорейшее внедрение вновь разрабатываемых методов и технологий в практическую медицину. Поэтому важной составляющей в инновационном развитии здравоохранения являются формирование и постоянная корректировка нормативно-правового поля, обеспечивающего эффективное внедрение и обращение инноваций.

Задачей Минздрава России является, прежде всего, обеспечение безопасности применяемых методов и технологий для пациентов. Это безусловный приоритет, который является доминирующим.

Изменения в законодательство, которые вносятся с целью ускорения доступа пациентов к самым современным достижениям в области медицины, должны, прежде всего, гарантировать, что на рынки будут допущены только безопасные методы и технологии, медицинские изделия и биомедицинские клеточные продукты, которые обладают доказанной эффективностью.

Проведенная в последние годы работа Министерства здравоохранения Российской Федерации уже создала благоприятные условия для ускоренного внедрения инноваций в практическое здравоохранение. Это один из самых коротких в международной практике срок проведения экспертизы лекарственных препаратов для оценки их качества и эффективности.

Для медицинских изделий также установлен один из самых коротких сроков их государственной регистрации. Для обеспечения и применения биомедицинских клеточных продуктов с доказанной биобезопасностью и эффективностью принят Федеральный закон «О биомедицинских клеточных продуктах», регулирующий отношения в этой области. И уже окончательно сформирована законодательная база для его реализации.

В ответ на запрос практического здравоохранения в условиях все большей персонализации и диагностики, это в первую очередь относится к молекулярно-генетическим и иным диагностическим тестам Инвитро,

Минздравом России с привлечением профессионального экспертного сообщества разработан проект поправок в Федеральный закон № 323 «Об охране здоровья граждан», регламентирующий порядок проведения диагностических тестов Инвитро, которые разработаны непосредственно в

медицинском учреждении без их обычной государственной регистрации, в упрощенном режиме. И в самом ближайшем будущем законопроект будет представлен на общественное обсуждение.

Реализация приоритета Стратегии научно-технологического развития по персонализированной медицине в формате межведомственного взаимодействия, с синхронизацией этого мероприятия с национальными проектами «Здравоохранение» и «Наука» является необходимым условием для поставленных задач сегодня и на ближайшие шесть лет.

Уже существующее взаимодействие Министерства здравоохранения Российской Федерации с Российской академией наук должно расширяться и укрепляться, способствуя появлению практических эффективных решений в сфере здравоохранения в интересах населения, основой для чего являются научные достижения.

Важнейшим стимулом развития цивилизации служат глобальные (большие) вызовы. Они определяют, в частности, приоритеты научно-технологического развития, которые с учётом масштаба и глубины их влияния на социально-экономические процессы делятся на две категории – тактические и стратегические. Первые определяют ближнесрочную перспективу, обеспечивая потребности дня сегодняшнего, вторые ориентированы на средне- и долгосрочную перспективу, обеспечивают создание принципиально новых прорывных технологий, приводят к смене технологического уклада. При формировании и реализации научно-технической политики государства чрезвычайно важно соблюсти правильное соотношение приоритетов этих двух категорий: в отсутствие тактических приоритетов "будущее" может не наступить, а отсутствие стратегических приоритетов лишает смысла решение тактических задач.

Ярким примером точного баланса между стратегией и тактикой служит ситуация конца Второй мировой войны [1]. Реализуя тактические приоритеты, то есть создавая и производя всё больше эффективного вооружения и военной техники, СССР выиграл войну. К весне 1945 г. Советская армия была самой мощной, боеспособной и технически оснащённой армией мира. Но уже в августе 1945 г. Советскому Союзу был брошен вызов – атомные бомбардировки Соединёнными Штатами Америки Хиросимы и Нагасаки, он и определил принципиально новый стратегический приоритет. И если бы Советский Союз не приступил к осуществлению Атомного проекта в тяжелейшую для страны осень 1942 г., образовав Урановый комитет, а через полгода – Лабораторию № 2 под руководством И.В. Курчатова, победа во Второй мировой войне была бы обесценена и само существование нашей страны оказалось бы под вопросом. Но ценой невероятных усилий СССР создал ядерное оружие и средства его доставки, обеспечив на многие десятилетия мир на Земле.

Важной особенностью глобальных стратегических приоритетов является то, что в ходе их реализации происходят революционные изменения всей научно-технологической базы цивилизации, формируется принципиально новый технологический облик мира и, как следствие, – новая геополитическая реальность. Атомная энергетика, производство изотопов, атомный подводный и ледокольный флоты, уникальные исследовательские установки мега-класса, ракетно-космическая техника, инфокоммуникационные технологии, новое материаловедение, ядерная медицина – вот далеко не полный перечень отраслей техники и технологий, рождённых Атомным проектом [1].

В результате осуществления советского Атомного проекта были созданы практически все основные отрасли научно-технологического комплекса,

¹ Президент НИЦ «Курчатовский институт», член-корреспондент РАН

² Вице-президент НИЦ "Курчатовский институт", член-корреспондент РАН

³ Заместитель директора НИЦ "Курчатовский институт", кандидат философских наук

которые сформировали новый геополитический облик СССР как мировой сверхдержавы. Эти отрасли и сегодня обеспечивают национальную безопасность и устойчивое положение нашей страны в группе мировых технологических лидеров.

Сегодня мы сталкиваемся с новым вызовом, связанным с проблемой устойчивого развития цивилизации, для обеспечения которого человечеству требуется огромное, всё возрастающее количество энергии и ресурсов, прежде всего питьевой воды, продуктов питания, биоресурсов.

Система расширенного воспроизводства и потребления, сформировавшаяся после Второй мировой войны, была достаточно эффективной с позиций обслуживания нужд «золотого миллиарда». Однако вовлечение в систему современного промышленного производства всё большего количества стран привело человечество на грань ресурсного коллапса. Об этом свидетельствует нарастающая борьба за истощающиеся ресурсы, которая теперь доминирует в мировой политике. Важно подчеркнуть, что главным оружием в этой борьбе становится технологическое превосходство, поддерживаемое прямой военной силой, а обычная военная колонизация сменяется технологическим порабощением, причём его объектом могут стать и развитые страны.

Причина современного кризиса кроется в антагонизме природы и техносферы, сформированной за последние 300 лет. Создавая нашу цивилизацию, взаимодействуя с природой, человек вёл себя не как её неотъемлемая часть, а как господствующая сила, выкачивающая природные ресурсы. При этом по мере роста масштабов производственной деятельности её негативное влияние на биосферу возрастало, приблизившись сегодня к критическому порогу [2-4]. В результате человеческая цивилизация, достигнув, бесспорно, высокого уровня развития, заплатила за это неприемлемую ресурсную, в первую очередь энергетическую цену.

Именно глубинное противоречие между техносферой и природой обусловило всё возрастающую угрозу ресурсного голода и риски экологических, климатических, техногенных катастроф.

Проиллюстрируем сказанное примерами. История развития науки, прежде всего физики, показывает, что конечным результатом всё более глубокого проникновения в свойства материи было открытие новых видов энергии:

- термодинамика – энергия пара (паровая машина);
- электродинамика – электроэнергия (электрогенератор, электродвигатель);
- физика атома – ядерная энергия, термоядерная энергия (атомный и термоядерный реакторы).

В процессе этого развития эффективность генерации энергии выросла более чем в 3 млн раз. Однако потребление энергии человечеством росло быстрее, чем генерация. Техносфера сегодня чрезвычайно энергозатратна. Так, на обработку и распознавание одного простого речевого запроса, отправленного со смартфона, затрачивается энергия, достаточная для кипячения 1 л воды (около 0,1 кВт·ч).

Ещё один пример связан с решением важнейшей задачи формирования цифровой экономики. По данным Международного энергетического агентства, к 2025 г. доля потребления энергии сетевой инфокоммуникационной сферой (оконечные устройства, пользовательское сетевое оборудование, сетевые коммуникации, дата-центры) без производственной информационно-вычислительной инфраструктуры превысит 30% мирового производства электроэнергии [5], что создаст уже в ближайшей перспективе серьёзные энергоресурсные ограничения для цифровой экономики.

Природа же, миллионы лет существующая в рамках замкнутого самосогласованного ресурсооборота, не знает ресурсных кризисов и энергетического голода. Объяснение – в поразительной сбалансированности природной системы и чрезвычайно высокой энергоэффективности природных объектов. Так, человеческий мозг, благодаря возможностям которого и создана уникальная земная цивилизация, потребляет не более 30 Вт, а современная супер-ЭВМ – десятки мегаватт (МВт). При этом эффективность всех компьютеров мира не достигает эффективности мозга среднестатистического человека! Отсюда вывод: одного лишь повышения эффективности генерации недостаточно, нужны революционные изменения в технологиях потребления энергии.

В этом и заключается вызов, сформировавшийся к концу XX века. Этот вызов более глубокий и значительный, чем все предшествующие. Принципиальное его отличие состоит в том, что каждая из научно-технологических революций, происходивших в истории цивилизации, решала задачи радикального увеличения производительности труда и объёмов производства. Задача же новой научно-технологической революции – обеспечить сохранение самой цивилизации, повернув её развитие в иное русло.

Выход из кризиса возможен лишь путём создания техносферы, базирующейся на технологиях, воспроизводящих системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов, интегрированных в естественный природный ресурсооборот. Такие технологии мы называем природоподобными, и именно они должны лечь в основу принципиально новой технологической базы цивилизации. Иными словами, смысл создания природоподобной техносферы состоит в восстановлении своеобразного «обмена веществ» природы – естественного самосогласованного ресурсооборота, нарушенного сегодняшними технологиями, которые вырваны из естественного природного контекста.

Как сказал Президент Российской Федерации В.В. Путин в своём выступлении на 70-й сессии Генеральной ассамблеи ООН, для ответа на этот вызов «нам нужны качественно иные подходы. Речь должна идти о внедрении принципиально новых природоподобных технологий, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и позволяют восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой. Это действительно вызов планетарного масштаба ...» [6].

Указанное положение закреплено в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в качестве стратегического приоритета: «В долгосрочной перспективе особую актуальность приобретают исследования в области ... развития природоподобных технологий» [7, с. 10].

Важно отметить, что природоподобие, природоподобная техносфера – это не искусственная умозрительная конструкция, а естественный, закономерный этап научно-технологического развития человечества [8]. Истоки идеи природоподобия, так же, как и причины лишь недавнего её осознания, коренятся в особенностях процесса познания. Исторически познавательная и преобразующая деятельность человека развивалась от восприятия окружающей природы как непонятого, но единого целого через вычленение модельных сегментов природы, доступных анализу, и формирование узкоспециализированной науки к отраслевой организации экономики.

На начальных этапах этого пути существовал единый массив науки – натурфилософия. В дальнейшем из «натуральной» части выделились физика, биология, химия, другие естественные науки. Из «философской», ставшей инкубатором гуманитарных наук, – психология, социология, история, лингвистика. Это был закономерный процесс, сопровождавший первую промышленную революцию, эпоху географических открытий, когда вал новых знаний потребовал вычленения отдельных дисциплин. Двигаясь по пути углублённого познания окружающего мира, сопровождавшегося разделением предмета рассмотрения на всё более мелкие фрагменты, человечество, с одной стороны, детально изучило многие процессы, а, с другой – утратило целостную картину мира [8-10].

Со временем, на новом витке диалектической спирали начался обратный процесс – слияние наук. Истоки его относятся к концу XIX в., когда стали возникать науки-связки, например, биохимия, геохимия, биогеохимия и т.п.

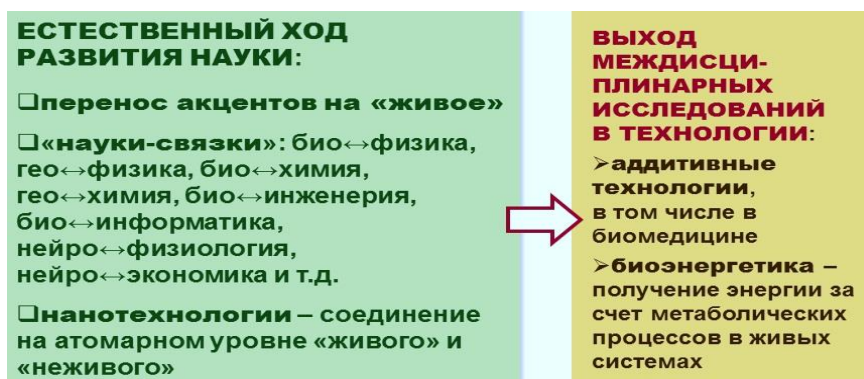


Рис. 1. Через междисциплинарность к природоподобию

В дальнейшем развитие науки всё более определялось процессами интеграции и взаимопроникновения различных научных направлений, что привело к появлению и расширению сферы междисциплинарных исследований, вышедших сегодня в область технологий (рис. 1) [11].

Очень важно, что эти процессы распространились на сферу гуманитарного знания, которое соединяется с естественно-научным. Например, когнитивные исследования изначально проводились методами гуманитарных наук – лингвистики, психологии, социологии. Сегодня основным инструментарием когнитивных исследований служат позитронно-эмиссионная и компьютерная томография, магниторезонансная томография и другие физические методы. Получаемые результаты описываются в понятиях и терминах физики, математики, информатики и других естественно-научных дисциплин. Таким образом, происходит слияние гуманитарного и естественно-научного знания и на этой базе создаются технологии, технические устройства и системы, в которых моделируются природные когнитивные процессы (рис. 2).

С точки зрения поиска инструментов создания природоподобных технологий огромное научное и методическое значение имеет появление и бурное развитие наддисциплинарных, надотраслевых информационных и нанотехнологий. Информационные технологии рассматривают процессы хранения, обработки и передачи информации безотносительно к её природе. В этом смысле они связывают живое и неживое на информационном уровне. Нанотехнологии как методология конструирования материалов любого типа путём атомно-молекулярного манипулирования связывают живое с неживым на атомарном уровне. Таким образом, нано- и информационные технологии возвращают науку к восприятию целостной картины мира и служат основой для создания инструментария природоподобных технологий.



Рис. 2. Превращение гуманитарных знаний в технологии

Сегодня уже общепризнано, что таким инструментарием служит конвергенция нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий (НБИКС-технологии) (рис. 3), при этом каждая из них выполняет свои функции. Нанотехнологии, оперируя

атомами и молекулами, позволяют получить принципиально новые вещества и материалы с заданными свойствами, используя для этого те же технологические приёмы, что и сама природа. Так, на основе аддитивных технологий появляется возможность выращивать изделие, а не получать его путём удаления с заготовки огромного количества лишнего материала, превращающегося в отходы [9, 12]. Симбиоз нано- и биотехнологий позволяет не только воспроизводить живую материю, но и создавать принципиально новые биоорганические материалы и структуры. Такие материалы уже используются, в частности, в медицине. Информационные технологии дают возможность воспроизводить в искусственных объектах природные процессы преобразования информации.

Двигаясь по пути синтеза природоподобных систем, человечество подойдёт к созданию антропоморфных технических систем с элементами сознания и способностью к познанию. Для решения этой задачи необходимы когнитивные науки и технологии. На следующем этапе речь пойдёт уже о создании сообщества антропоморфных устройств и систем, взаимодействующих друг с другом и с внешней средой, в том числе с человеком, и наделённых определёнными социальными функциями. Наконец, чтобы разумно и эффективно пользоваться возможностями конвергентных наук и технологий, необходима радикальная трансформация сознания самого человека как социального существа. Всё это возможно только на базе соединения нано-, био-, информационных, когнитивных технологий с достижениями социогуманитарных наук и технологий.

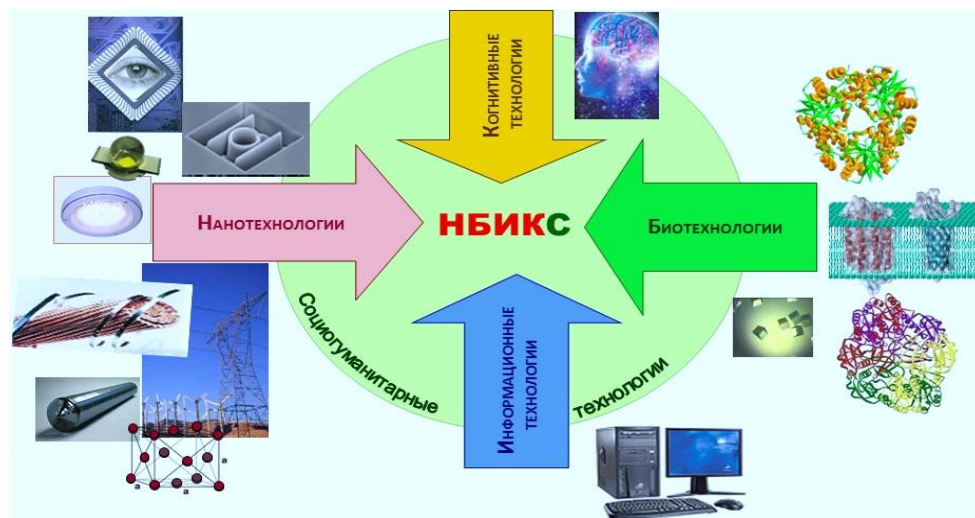


Рис. 3. Конвергенция наук и технологий – инструмент создания природоподобной техносферы

Используя конвергентные НБИКС-технологии, мы получаем возможность создать новую, гармоничную техносферу, построить новое человеческое

общество. Однако природоподобные технологии, предоставляя человечеству шанс избежать ресурсного коллапса, определяют принципиально новые глобальные угрозы и вызовы. (Детальный анализ таких угроз содержится в докладе М.В. Ковальчука Совету Федерации Федерального собрания Российской Федерации 30 сентября 2015 г.)

Опасности связаны с самим характером природоподобных технологий, построенных на возможности технологического воспроизведения систем и процессов живой природы. С точки зрения специальных применений, эта возможность открывает перспективу целенаправленного вмешательства в жизнедеятельность природных объектов, прежде всего человека, в том числе в процесс его эволюции, что представляет наибольшую опасность [13].

По используемой технологической базе и методам воздействия такое вмешательство можно разделить на два важнейших типа: биогенетическое, базирующееся на применении методов нанобиотехнологий, и когнитивное, основанное на конвергенции инфокогнитивных и социогуманитарных наук. Первое из них уже сегодня реализуется в технологиях синтетической биологии, позволяющих продуцировать искусственные живые системы с заданными свойствами, в том числе несуществующие в природе. Базовым элементом такой системы служит искусственная клетка, обладающая минимально необходимым набором генов, достаточным для жизни и размножения. Будучи «загруженной», в зависимости от желаемого результата, теми или иными функциональными блоками, такая клетка может быть, как сверхэффективным лекарством, так и элементом оружия массового поражения, обладающего избирательным действием на различные этногенетические группы [1, 13]. Показательным примером новых угроз, связанных с созданием искусственных живых систем, служит возможность появления новых видов наркотических средств. Так, непригодный для получения морфина природный прицветниковый мак может быть превращён в его продуцент и использован для получения наркотиков [14].

Второй тип вмешательства связан с воздействием на психофизиологическую сферу человека с целью контроля и управления его сознанием и телом. В частности, активно разрабатываются принципиально новые мозго-машинные и мозго-мозговые интерфейсы, позволяющие формировать у человека заданное представление о действительности. Уже разрабатываются и создаются системы регулирования жизнедеятельности человеческого организма с целью изменения его функциональных возможностей и выживаемости в экстремальных ситуациях.

В повестке дня – создание интегрированных человеко-машинных систем, управляемых извне. Существующая сетевая технологическая база (Интернет) позволяет достаточно эффективно управлять как индивидуальным, так и массовым сознанием, используя интегрированные технологии инфокогнитивных и социогуманитарных наук.

Риски, сопровождающие создание и развитие природоподобных технологий, многократно увеличиваются в силу ряда присущих им специфических особенностей. Вот важнейшие из них:

- двойственный характер технологий, размытые границы между гражданскими и военными применениями и, как следствие, неэффективность существующих средств и технологий контроля;

- доступность и относительная дешевизна технологий, возможность создания средств поражения даже в кустарных условиях, отсутствие необходимости в сложнейших и чрезвычайно дорогостоящих системах доставки;

- невозможность предугадать все последствия выхода искусственных живых систем в окружающую среду.

Степень доступности технологий уже такова, что даже крупные государственные структуры не всегда в состоянии обеспечить биологическую безопасность. Яркий пример непредсказуемости последствий выхода искусственных живых систем в окружающую среду – вытеснение ими своих природных аналогов, что ставит под угрозу естественное биоразнообразие. В частности, в Индии, США и Канаде зафиксированы случаи передачи от генно-модифицированных растений к дикорастущим видам устойчивости к гербицидам, что превратило их в «супер-сорняки» [15].

Необходимо отметить, что исследования и разработки по созданию природоподобных технологий интенсивно ведутся в ряде зарубежных стран. В частности, в США, странах Европейского союза, Японии и других реализуются сотни проектов в этой области.

Первым ответом нашей страны на глобальный вызов XXI в. стала президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии», два этапа которой успешно реализованы в 2007–2015 гг. Задачей третьего этапа, начавшегося в 2016 г., документ определяет так: «Опережающее развитие принципиально новых направлений <...>, обеспечивающих создание в стране надотраслевой научно-образовательной и производственной среды в перспективе на ближайшие 10–20 лет.

Главным содержанием этого этапа станут разработка и создание:

- продукции нанобиотехнологий; гибридных устройств и приборов бионического типа;

- нанобиосистем и устройств, включая принципиально новые гибридные системы очувствления бионического типа;

- биоробототехнических систем». [16]

В ходе реализации первых двух этапов указанной президентской инициативы заложена идеологическая, кадровая и инфраструктурная база для развития природоподобных НБИКС-технологий. В частности, в НИЦ «Курчатовский институт» создан уникальный, не имеющий прямых аналогов в мире, центр конвергентных наук и технологий – Курчатовский комплекс НБИКС-природоподобных технологий. Исследовательско-технологическая база комплекса включает более 45 установок класса мега-сайенс, среди которых (рис. 4):

- единственный на постсоветском пространстве специализированный источник синхротронного излучения,

- источники нейтронов, включая самый мощный в мире реакторный комплекс ПИК,
- суперкомпьютерный центр моделирования и обработки данных,
- уникальный комплекс биологических моделей,
- комплекс нейрокогнитивных и социогуманитарных технологий,
- комплекс технологий ядерной медицины и лучевой терапии,
- комплекс белковой кристаллографии,
- комплекс геномики, биоинформатики, синтетических биологических структур,
- комплекс гибридных материалов, структур, устройств и систем (микроэлектромеханические и наноэлектромеханические системы),
- комплекс сверхпроводимости,
- комплекс инновационной энергетики.



Рис. 4. Структура Курчатова комплекса НБИКС-природоподобных технологий

В этом центре на мировом уровне проводятся исследования и разработки по всему спектру конвергентных НБИКС-наук и технологий. Основной принцип организации деятельности центра состоит в формировании научно-технологической цепочки: от гибридных материалов, сочетающих живое и неживое, через биоподобные и искусственные биологические материалы, устройства и системы – к био- и антропоморфным техническим системам (рис. 5).

В настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» уже получен ряд технологически значимых результатов, в том числе в области создания искусственных биологических материалов, природоподобной генерации энергии и её потребления. Так, разработаны микро- и нанoeлектронные устройства на основе полупроводниковых кристаллов, способные служить интерфейсами между биообъектом и компьютером в биогибридных системах [17, 18].



Рис. 5. Схема организации деятельности Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий

Созданы прототипы биоподобных сенсорных и управляющих устройств, высокопроизводительных нейроморфных вычислительных систем, которые будут функционировать на принципах работы человеческого мозга. На основе мемристивных материалов, обладающих электросопротивлением с эффектом памяти, создаются устройства, моделирующие синаптические контакты в нервной системе. Будучи объединёнными в сеть из искусственных и/или живых нейронов с подходящей архитектурой и топологией мемристивных связей, такие системы могут воспроизводить нейроморфные принципы распознавания образов, оценки и принятия решений, динамического управления и т.п. Таким образом, создаются высокоэффективные аппаратные системы поддержки технологий искусственного интеллекта, по своим характеристикам (энергопотребление, производительность вычислений и др.) приближающиеся к биологическому прообразу – человеческому мозгу [19-22].

На базе исследований в области клеточной биологии, тканевой инженерии, молекулярной иммунологии и вирусологии разработаны биоподобные и искусственные биологические материалы для медицины (биоразлагаемые

штифты для остеосинтеза, противоожоговые покрытия, кардиостенты и др.), искусственные органы (кожа, трахея, сосуды и др.) [23-27], новые лекарственные препараты для терапии социально значимых заболеваний (различные виды онкологии, болезни Альцгеймера и Паркинсона, другие когнитивные расстройства, туберкулёз и пр.), оснащённые средствами целевой доставки в органы и ткани [28-31].

Одним из важнейших результатов фундаментальных исследований энергетических процессов в живой клетке стала разработка технологии получения электрической энергии на основе метаболических процессов в живых организмах. Создан и испытан прототип генерирующего устройства – биотопливного элемента, реализующего эту технологию. Такие устройства могут применяться для питания имплантируемых медицинских приборов, микросенсоров, робототехнических устройств, биороботов [32-35].

Создан опытный образец принципиально нового нейрокогнитивного интерфейса «глаз–мозг–компьютер», алгоритм управления которым впервые основан на принципах работы головного мозга, центральной нервной системы и зрительного аппарата человека. Такой интерфейс может применяться в системах управления биомедицинскими устройствами различного назначения (биопротезы, коляски для инвалидов и т.п.), беспилотными летательными аппаратами, робототехническими комплексами и т.д. [36-38].

Каждая из этих и подобных им разработок открывает новое направление и закладывает основы для создания научных заделов в области природоподобных технологий. Яркий пример слияния гуманитарного и естественно-научного знания – комплексное исследование объектов исторического и культурного наследия методами естественных наук, в том числе с использованием уникальных установок класса мегасайенс.

Уже несколько лет в Курчатовском комплексе НБИКС-природоподобных технологий совместно с Институтом археологии РАН, Государственным историческим музеем и Государственным музеем изобразительных искусств им. А.С. Пушкина развивается такое направление, как историческое материаловедение. Использование для изучения артефактов различного происхождения методов синхротронной и нейтронной диагностики, газовой хроматографии и масс-спектрометрии, электронной микроскопии и элементного микроанализа, геномного анализа, магнитно-резонансной и компьютерной томографии, 3D-сканирования и моделирования весьма эффективно дополняет традиционные методы получения исторической информации из письменных и археологических источников, расширяя возможности изучения особенностей структуры, элементного и фазового состава образцов, степени их сохранности, других показателей, важных для определения оптимальных методов реставрации, сохранения и демонстрации в музейных экспозициях. Кроме того, такая углублённая информация об исторических артефактах позволяет изучать источники сырья, технологии изготовления и таким образом исследовать направления развития и распространения ремёсел, формирования межрегиональных торговых и культурных связей.

Всё это даёт дополнительные важные сведения о конкретном историческом периоде, особенностях развития культуры, международных связей. Объектами исследований были, например, различные артефакты из Суздальского Ополя, в том числе кресты-энколпионы. Методом рентгенофлуоресцентного анализа на Курчатовском источнике синхротронного излучения определён состав черни створок и с помощью нейтронной томографии без вскрытия крестов исследовано их содержимое [39, 40].

Чрезвычайно интересными оказались результаты комплексного исследования методом позитронно-эмиссионной томографии крупнейшей коллекции египетских мумий из ГМИИ им. А.С. Пушкина. Исследование проводилось междисциплинарным коллективом, включавшим физиков, историков, археологов, антропологов, криминалистов, медиков. Получена информация о технике мумификации, составе бальзамирующих смол, природе тканей для обёртывания мумий, возрасте, поле, телосложении, телесных повреждениях и общем состоянии. Эти данные представляют богатейший материал для дальнейших исторических, антропологических и других исследований [41, 42].

Наряду с созданием базовой исследовательской инфраструктуры для развития природоподобных технологий НИЦ "Курчатовский институт" в тесном взаимодействии с Российской академией наук и вузовским сообществом сформирована инновационная научно-образовательная система междисциплинарной подготовки кадров [10]. Она включает:

- факультет нано-, био-, инфокогнитивных технологий (ФНБИК) в Национальном исследовательском университете МФТИ (первый в мире);
- Институт ядерных, нано-, биотехнологий (ИЯНБ) в Национальном исследовательском ядерном университете МИФИ;
- 27 базовых кафедр и научно-образовательных центров в ведущих вузах Москвы и Санкт-Петербурга: МГУ им. М.В. Ломоносова, МИФИ, МФТИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МИРЭА, РУДН, СПбГУ, СПбГПУ, СПбАУ НОЦНТ РАН. В лабораториях НИЦ "Курчатовский институт" одновременно проходят практику, выполняют бакалаврские дипломные работы и готовят к защите магистерские диссертации свыше 400 студентов;
- аспирантуру и докторантуру.

Таким образом, в области создания природоподобных технологий Россия вышла на передовые позиции в мире. Вместе с тем для сохранения и закрепления в стратегической перспективе лидирующего положения в этой области требуется новый научно-технологический прорыв. Это означает, что в ближайшие годы в первую очередь необходимо сделать шаг в исследовании природных процессов, прежде всего процессов жизнедеятельности живой природы. Дело в том, что имеющиеся в распоряжении исследователей экспериментальные установки обладают пространственным разрешением, позволяющим видеть атомную структуру вещества, в том числе живого. Но временное разрешение недостаточно для того, чтобы видеть движение атомов и молекул. Между тем необходимо «подсмотреть» именно движение, то есть

увидеть, как природа создаёт свои объекты с тем, чтобы воспроизвести эти процессы в виде технологий сначала в лаборатории, а затем и в промышленности.

По существу, речь идёт о возникновении нового научного направления – 4D-кристаллографии (четвёртое измерение – время). Для решения указанной задачи потребуется создать ряд качественно новых экспериментальных установок, позволяющих непосредственно (напрямую) исследовать не только структуру объектов живой природы, но и процессы их функционирования.

В соответствии с поручениями Президента РФ в нашей стране формируется программа развития синхротронно-нейтронных исследований, предусматривающая реализацию ряда проектов создания таких установок класса мегасайенс.

В частности, завершается строительство самого мощного в мире источника нейтронов – реакторного комплекса ПИК, на базе которого формируется международный центр нейтронных исследований. Начато проектирование не имеющего мировых аналогов специализированного источника синхротронного излучения четвёртого поколения ИССИ-4. Предусмотрено также строительство современных специализированных источников синхротронного излучения в Новосибирске и Владивостоке. Осуществление последних двух проектов даст мощный импульс пространственному развитию страны.

Комплементарное использование нейтронов и синхротронного излучения позволит получить принципиально новую информацию об атомной структуре и динамике процессов жизнедеятельности объектов живой природы и создаст научные заделы для развития природоподобных технологий. Эти исследовательские установки одновременно составят ядро метрологического комплекса принципиально новой природоподобной технологической базы экономики страны.

Вторая важнейшая составляющая нового этапа развития природоподобных технологий – формирование методов и инструментальных средств воспроизведения систем и процессов живой природы. Базовыми для решения этой задачи являются генетические технологии, в первую очередь технологии генетического редактирования.

Указом Президента РФ Правительству РФ поручено разработать и утвердить Федеральную научно-техническую программу развития генетических технологий на 2019–2027 гг., которая призвана обеспечить научно-технологический прорыв в этой области. Целями программы являются:

- комплексное решение задач ускоренного развития генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования,
- разработка биологических препаратов, диагностических систем и иммунобиологических средств для сферы здравоохранения, биотехнологий для сельского хозяйства и промышленности,
- совершенствование мер предупреждения чрезвычайных ситуаций биологического характера и контроля.

Основные задачи программы состоят:

- в снижении критической зависимости России от иностранных баз генетических и биологических данных, иностранного специализированного программного обеспечения, приборов и технологий;
- в развитии кадрового потенциала отечественной науки и высокопрофессиональных компетенций исследователей в области генетических технологий;
- в формировании сети лабораторий, ведущих исследования по ключевым направлениям в области развития генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования;
- в создании национального биоресурсного центра микроорганизмов биотехнологического назначения и центров технической поддержки исследований в области генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования.

В программе предусматривается участие НИЦ «Курчатовский институт», Российской академии наук, институтов Роспотребнадзора и университетов.

В программе выделены четыре ключевых направления развития генетических технологий, охватывающие практически все важнейшие их приложения: генетические технологии для биомедицины; генетические технологии для агроиндустрии; генетические технологии для промышленной микробиологии; биобезопасность и обеспечение технологической независимости. В ходе реализации программы должны быть получены следующие основные результаты:

- разработаны отечественные генетические технологии нового поколения, включая технологии генетического редактирования, обеспечивающие, в частности создание высокоэффективных микроорганизмов-продуцентов всех важнейших продуктов биотехнологий;
- сформирован высококлассный кадровый потенциал в области генетических технологий;
- создана исследовательская инфраструктура мирового уровня, включая сеть лабораторий, центры техподдержки исследований и центры развития компетенций в области генетических технологий;
- созданы отечественные биоинформационные и генетические базы данных, основные реагенты, программные продукты и прототипы отечественного оборудования для исследований и разработок в области генетических технологий;
- на основе отечественных генетических технологий выведены высокопродуктивные линии, сорта, породы сельскохозяйственных растений и животных; разработаны модели заболеваний человека на основе лабораторных животных или культур клеток.

Таким образом, осуществление двух указанных федеральных научно-технических программ позволит сформировать инфраструктурную и научно-технологическую базу развития природоподобных технологий в Российской Федерации и обеспечить вхождение страны в группу мировых лидеров в этой стратегически важной области.

Литература

1. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Научно-технологические приоритеты и глобальный вызов XXI века // Новая экономика. Инновационный портрет России. Сборник. М.: НП «Центр Стратегического партнёрства», 2015, с. 55-58.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-Пресс, 2004.
3. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1972.
4. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Конвергенция наук и технологий и формирование новой ноосферы // Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6. № 9-10, с. 10-13.
5. More Data, Less Energy: Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices. Report of the International Energy Agency, 2014. P. 176.
6. Выступление Президента Российской Федерации В.В. Путина на 70-й сессии Генеральной ассамблеи ООН. URL: <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/50385> (дата обращения 05.11.2018).
7. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/uZiATIIOJiq5tZsJgqcZLY9YyL8PWTXQb.pdf> (дата обращения 05.11.2018).
8. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития // Вопросы философии. 2013. № 3, с. 3-11.
9. Ковальчук М.В. Идеология нанотехнологий. М., 2011. (Изд. 2-е, испр. и доп.).
10. Ковальчук М.В. От синтеза в науке – к конвергенции в образовании // Образовательная политика. 2010. № 11-12, с. 4–9.
11. Ковальчук М.В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее // Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6. № 1-2, с. 13-23.
12. Ковальчук М.В. Нанотехнологии – фундамент новой наукоёмкой экономики XXI века // Вестник Института экономики РАН. 2008. № 1, с. 143-158.
13. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. Т. 22. № 3-4 (118-119), с. 103-108.
14. Онищенко Г.Г., Кутырев В.В., Одиноков Г.Н. и др. Синтетическая биология: риски и перспективы // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. № 3, с. 5-10.
15. Энгдаль У.Ф. Семена разрушения: Тайная подоплёка генетических манипуляций. СПб.: Нестор-История, 2009.
16. Президентская инициатива "Стратегия развития nanoиндустрии". URL: http://www.rusnanonet.ru/download/nano/20070424_strategy_688.pdf (дата обращения 05.11.2018).
17. Chernykh M.Y., Ezubchenko I.S., Mayboroda I.O., Zaveskin M.L. Influence of the growth conditions of LT-AlN on quality of HT-AlN growth on Si (1 1 1) by metalorganic chemical vapor deposition // Journal of Crystal Growth. February 2019. V. 507. P. 200-204. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2018.11.020.
18. Mayboroda I.O., Knizhnik A.A., Grishchenko Yu.V. et al. Growth of AlGaN under the conditions of significant gallium evaporation: Phase separation and enhanced lateral growth // Journal of Applied Physics. 2017. V. 122. P. 105305.
19. Demin V.A., Erokhin V.V., Emelyanov A.V. et al. Hardware elementary perceptron based on polyaniline memristive devices // Organic Electronics. 2015. V. 25. P. 16-20.

20. Emelyanov A.V., Lapkin D.A., Demin V.A. et al. First steps towards the realization of a double layer perceptron based on organic memristive devices // *AIP Advances*. 2016. V. 6. P. 111301-1-9.
21. Demin V.A., Emelyanov A.V., Lapkin D.A. et al. Neuromorphic elements and systems as the basis for the physical implementation of artificial intelligence technologies // *Crystallography Reports*. 2016. V. 61 (6). P. 992-1001.
22. Lapkin D.A., Emelyanov A.V., Demin V.A. et al. Polyaniline-based memristive microdevice with high switching rate and endurance // *Applied Physics Letters*. 2018. V. 112. P. 043302-1-4.
23. Solovieva E.V., Fedotov A.Y., Mamonov V.E. et al. Fibrinogen-modified sodium alginate as a scaffold material for skin tissue engineering // *Biomed Materials*. 2018. V. 13(2) P.025007.
24. Solovieva E.V., Teterina A.Y., Klein O.I. et al. Autologous Platelet rich plasma is an effective angiogenic and wound healing component of composite alginate sponge scaffolds // *Journal of Investigative Dermatology*. 2018. V. 138(5). P. S244.
25. Романова О.А., Тенчурин Т.Х., Сафронова Е.И. и др. Функциональный эквивалент дыхательного эпителия трахеи на основе композитного нетканого двуслойного полимерного матрикса // *Гены и клетки*. 2017. № 3, с. 208-209.
26. Lukanina K.I., Grigoriev T.E., Krashennnikov S.V. et al. Multi-hierarchical tissue-engineering ECM-like scaffolds based on cellulose acetate with collagen and chitosan fillers // *Carbohydrate Polymers*. 2018. V. 191. P. 119-126
27. Родина А.В., Тенчурин Т.Х., Сапрыкин В.П. и др. Пролиферативный и дифференцировочный потенциал мультипотентных мезенхимных стволовых клеток на биосовместимых полимерных матриксах с различными физико-химическими свойствами // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2016. № 10, с. 486-494.
28. Borodina T., Marchenko I., Trushina D. et al. A novel formulation of zolpidem for direct nose-to-brain delivery: synthesis, encapsulation and intranasal administration to mice // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2018. V. 70. P. 1164-1173.
29. Trushina D.B., Bukreeva T.V., Kovalchuk M.V., Antipina M.N. CaCO₃ vaterite microparticles for biomedical and personal care applications // *Materials Science and Engineering: C*. 2014. V. 45. P. 644-658.
30. Yabbarov N.G., Posypanova G.A., Obydenny S.I., Severin E.S. A New System for Targeted Delivery of Doxorubicin into Tumor Cells // *Journal of Controlled Release*. 2013. V. 78. № 8. P. 1128-1140.
31. Малашенкова И.К., Крынский С.А., Хайлов Н.А. и др. Противовоспалительные эффекты нейротрофической терапии (применение церебролизина при мягком когнитивном снижении) // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018. № 5, с. 39-44.
32. Reshetilov A.N., Plekhanova Y.V., Tarasov S.E. et al. Effect of some carbon nanomaterials on ethanol oxidation by *Gluconobacter oxydans* bacterial cells // *Appl. Biochem. Microbiol*. 2017. V. 53. P. 123-129.
33. Reshetilov A.N., Plekhanova J.V., Tarasov S.E. et al. Evaluation properties of bioelectrodes based on carbon superfine materials containing model microorganisms *Gluconobacter* // *Nanotechnologies Russ*. 2017. V. 12. P. 107-115.
34. Gotovtsev P., Vorobiev V., Migalev A. et al. Bioenergy Based Power Sources for Mobile Autonomous Robots // *Robotics*. 2018. V. 7. P. 2-18.
35. Reshetilov A.N., Kitov, A.E., Dyakov A.V. et al. Converter-based accumulation of electric energy generated by microbial biofuel cell // *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*. 2017. V. 52. P. 012010.

36. Shishkin S.L., Nuzhdin Y.O., Svirin E.P. et al. EEG negativity in fixations used for gaze-based control: Toward converting intentions into actions with an eye-brain-computer interface // *Frontiers in Neuroscience*. 2016. V. 10. Article 528 (20 pages).
37. Shishkin S.L., Zhao D.G., Isachenko A.V., Velichkovsky B.M. Gaze- and brain-controlled interfaces for human-computer and human-robot interaction // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2017. V. 10(3). P. 120-137.
38. Величковский Б.М., Нуждин Ю.О., Свирин Е.П. и др. Управление «силой мысли»: на пути к новым формам взаимодействия человека с техническими устройствами // *Вопросы психологии*. 2016. № 62(1), с. 79-88.
39. Макаров Н.А., Зайцева И.Е., Грешников Э.А. Черневые кресты-энколпионы в Суздальском Ополе // *Археологические вести*. Вып. 23. СПб.: ИИМК РАН, 2017, с. 291-310.
40. Говор Л.И., Грешников Э.А., Зайцева И.Е. и др. Исследование закрытых древнерусских крестов-энколпионов с применением ядерно-физических методов // *КСИА (Краткие сообщения института археологии)*. 2017. Вып. 249, ч. II, с. 348-365.
41. Яцишина Е.Б., Ковальчук М.В., Лошак М.Д. и др. Междисциплинарные исследования египетских мумий из коллекции Государственного музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» // *Кристаллография*. 2018. Т.63. № 3, с. 479-490.
42. Vasilyev S.V., Galeev R.M., Borutskaya S.B. et al. Anthropological Study of the Ancient Egyptian Mummy Based on the Computed Tomography Method // *Anthropol*. 2018. V. 6(3). P. 2-6.

Д.Ю. Пушкарь¹

Робот-ассистированная хирургия

Моя задача – рассказать о современной ситуации с робот-ассистированной хирургии в аспекте ее применения к Российским реалиям

Сегодня мы не обсуждаем, а уже знаем, что существует около 700 тыс. робот-ориентированных стартапов на планете. Это значит, что «роботизация» достигла глобальных масштабов, которые коснутся всех областей медицины. Пример, когда робот выступает перед парламентом Великобритании, говорит о том, что все лидирующие ассоциации «принимают» роботическую ассистенцию, и поэтому мы сегодня в медицине все активнее говорим о роботической ассистенции.

Мы говорим о Российской робот-ассистированной хирургической программе – и ни в коем случае не об искусственном интеллекте, который тоже существует и будет дальше развиваться в медицине.

В хирургии и в урологии коллектив урологической клиники МГМСУ им. А.И. Евдокимова представляет лидирующую урологическую группу в нашей стране и в Европе, которая активно занимается робот-ассистированной хирургией.

Российская академия наук сформировала свое мнение о робот-ассистированной хирургии, которое совпадает с мнением основных медицинских сообществ и специалистов. Основные положения доклада приведены на рис. 1.

Сегодня робот-ассистированная хирургия применяется каждый день. И это отработанная методика, которая развивается в разных странах мира и в России.

Talk flow (положения)

- Общее мнение сформировано! И совпадает **Globally!**
- Участие специалистов – практикующих врачей
- Место России в глобальной робот-ассистированной медицине
- Гарантия государства (конкретный пример)
- Результат
- Российская технология (много других ...грядет)
- Не хотелось бы терять ...

Рис. 1. Основные положения доклада

¹ Заведующий кафедрой урологии МГМСУ им. А.И.Евдокимова, член-корреспондент РАН

В настоящее время у нас есть возможность думать о конкретном примере нашей страны и гарантиях государства, которые могут быть связаны с обеспечением доступа к робот-ассистированной хирургии для всех жителей России.

Поставленный передо мной вопрос заключался именно в аспекте конкретных возможностей применения робот-ассистированной хирургии для различных категорий больных. И мне также приятно отметить, что урологи – «первооткрыватели» робот-ассистированной хирургии во всем мире. Должен сказать, что в зале присутствуют мои ученики и учителя, которые начали впервые выполнять эту и другие реконструктивные и лапароскопические операции. Мои учителя и коллеги Лоран О.Б., Ющук Н.Д., Янушевич О.О., Адамян Л.В., Луцевич О.Э., Хатьков И.Е. и многие другие специалисты, которые были первооткрывателями и взяли на себя огромный риск, когда не все считали, что лапароскопия заменит открытую хирургию.

Сегодня мы будем рассказывать о российской технологии, которая, по нашему мнению, является жизнеспособной. Хочу сказать, что мы начали разговор о робот-ассистированной медицине в 2012 году, когда 6 лет назад президент Российской академии наук академик Осипов Ю.С. пригласил нашу группу выступить на президиуме РАН. Сегодня это первое с того времени выступление подобного рода на Научной сессии Общего собрания членов Российской академии наук, что, конечно, для меня является огромной честью и представляет самый важный день в моей профессиональной жизни.

Сегодня мы говорим о роботе Da Vinci – о 6 тысячах роботов, которые установлены в разных странах мира. Если спросить пациентов, то 95% из них скажут: «Вы знаете, мы бы хотели, чтобы, если у нас, или у наших близких была операция, то это, конечно, была бы робот-ассистированная операция...» (рис. 2).

2000 - 2012 - 2018

- Российский опыт (лидирующие позиции)
- 7 новых роботов, практически копирующих Da Vinci
- Расширение показаний к робот-ассистированным операциям повсеместно (>6000 da Vinci)
- 95% пациентов выбирают ROBOTICS (урология, гинекология и общая хирургия)

The Devil Is in the Details
*James A. Eastham * , Peter T. Scardino*
Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, New York, NY, USA

Рис. 2. Создание новых хирургических роботов – мнение пациентов

Интересно, что это все «упирается» в детали.

Многие специальности активно используют робот-ассистированные операции. Кроме урологии, это сегодня кардиохирургия, гинекология, общая хирургия, торакальная хирургия, оториноларингология.

Наши российские данные о применении робот-ассистированных вмешательств схожи с данными многих стран, в том числе лидирующих в этой области (рис. 3).



Рис. 3. Робот-ассистированные операции с использованием системы Da Vinci в России в 2016 г. (по направлениям)

Прежде чем непосредственно говорить об особенностях робот-ассистированной хирургии и российских разработках, хотелось бы сказать, что, к сожалению, сегодня ждать большого успеха в фокальной терапии («частичного лечения» рака простаты) не приходится.

Интересно, что мы все думаем о магнитно-резонансной томографии (МРТ). МРТ – это великолепный метод исследования, который позволяет заподозрить наличие рака простаты, и многие в свое время говорили о том, что МРТ может заменить биопсию простаты. Таких работ было достаточно много, но последние работы говорят о том, что при МРТ- диагностике выявляется достаточно большое количество опухолей, однако более мелкие и более злокачественные новообразования остаются нераспознанными. Поэтому сегодня мы не мечтаем о фокальном лечении рака простаты, а говорим о радикальной простатэктомии, которая должна быть выполнена «в высоком качестве». В высоком качестве – даже у таких больных, о которых говорил проф. Говоров А.В. в докладе на конгрессе Американской ассоциации

урологов в 2018 г. и представил данные нашей клиники, которые были удостоены диплома «За лучший постерный доклад».

Мы понимаем, сколько на таком конгрессе было постеров. И среди многих тысяч постеров отобрали именно наш (что нам очень приятно). Он был посвящен пациентам, у которых расширены показания к радикальной операции. Почему? По той простой причине, что радикальная простатэктомия, по моему мнению, переживает свое «второе рождение», и сегодня мы действительно возлагаем большие надежды на это вмешательство.

Посмотрите, что происходит в Северной Америке: робот-ассистированная медицина – это не только робот Da Vinci. Это и «Кибернож», и система «МАСО», и система «Renaissance». Это аддитивные роботические технологии, которые развиваются и предоставляют врачам и пациентам широчайшие возможности (рис. 4). И они будут развиваться еще шире и активнее в ближайшее время.

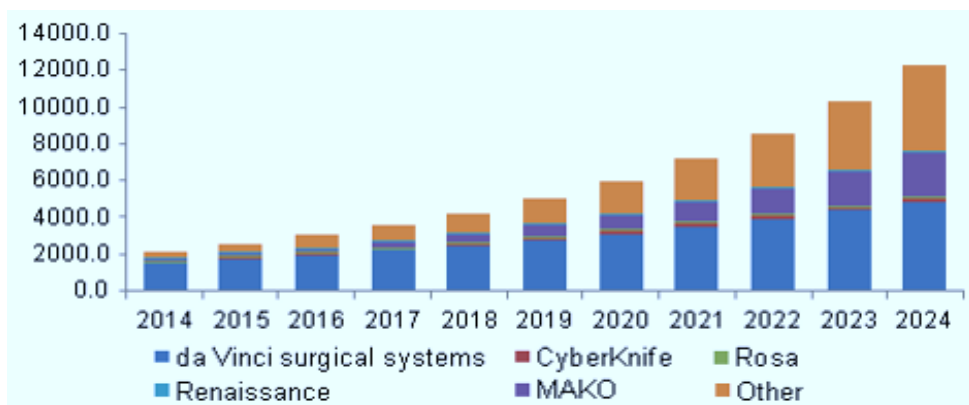


Рис. 4. Новые роботические системы в Северной Америке (2014-2024)

Интересно, что сегодня в общей хирургии, в нейрохирургии и в гинекологии активно происходит внедрение робот-ассистированных операций. Примечательно, что урология, которая занимала всегда 60-70% всех роботических операций, сегодня занимает всего 30-40%. Хирургия заболеваний сердечно-сосудистой системы, болезней головы и шеи также все активнее использует робот-ассистированные технологии (рис. 5).

Сегодня мы говорим не только о простате, но и об опухолях почки – о возможностях контролируемой резекции почки. Мы можем в режиме «виртуальной реальности» видеть опухоль почки, которая должна быть удалена в пределах «здоровых» тканей, и мы имеем робот-ассистированную поддержку оценки этих здоровых тканей, и удаляем эту опухоль в пределах здоровых тканей.

Мы не хотим каких-то разрезов сегодня!

Не хотим и прекрасно понимаем, что разрез не хочет, прежде всего пациент, как не хочет он и кровопотери, послеоперационной боли, долгого пребывания в стационаре и последующей длительной нетрудоспособности.

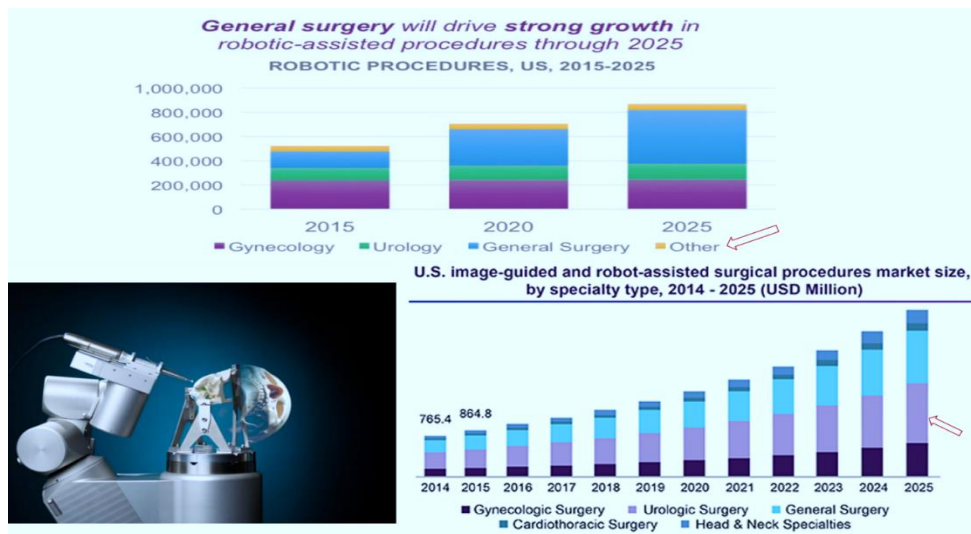


Рис. 5. Робот-ассистированная хирургия в разных областях медицины

Удаляя предстательную железу при робот-ассистированной радикальной простатэктомии, необходимо проникнуть в «микространство» и, таким образом, очистить этот «орех», чтобы сохранить все прилежащие ткани нетронутыми.

Это надо делать с особой осторожностью, сохраняя все структуры, в частности – сосудисто-нервные пучки. Мы сохраняем нервные пучки сегодня у большинства пациентов, таким образом, обеспечивая возможность удержания мочи после операции и сохранения эректильной функции. У кого? Конечно, у тех больных, у которых есть показания для нервосберегающей операции.

Признанный во всем мире лидер робот-ассистированной хирургии, наш коллега и близкий друг, который неоднократно был в России – доктор Vipul Patel – является иностранным членом РАН.

Недавно он как раз приезжал на прием к президенту РАН, был в президиуме РАН. И доктор V.Patel тоже говорит о том, что робот-ассистированную хирургию сегодня выбирают не только урологи, но и специалисты других направлений.

Интересные факты о развитии роботических технологий в мире: в разных странах получено около 10 тыс. «роботических» патентов, и более 50 фирм сегодня стараются копировать Da Vinci, что, по нашему мнению, является неперспективным (рис. 6).

Что касается роботической хирургии в России, для наших специалистов могут быть созданы условия для «идеального старта». Старта, который позволяет начать вести большой регистр стандартных операций. Должен подчеркнуть, что робот-ассистированная хирургия – это путь к стандартизации вмешательств.

Интернет, который соединяет любые роботы в стране, позволяет наблюдать за этими вмешательствами, оценивать их и повышать качество операций с каждым разом, что требует, конечно же, методического обеспечения в рамках центров. Это может быть, например, центр «РОБО-МЕД», который объединит усилия как специалистов-врачей, так и инженеров.

Сегодня кроме Da Vinci

RoboTrends

Главная Новости Статьи Шум Арт Робот-ландия Роботы в России Встречи

Робот-ландия Компании, бренды (136)

3D Robotics	MT Lab	Соборная гоним
ABB Robotics	Marvenmind Robotics	Василек

- 10 000 патентов
- > 50 фирм

TITAN MEDICAL

- Однопортовый робот – недостатки в безопасности и точности
- Отсутствие тактильных ощущений
- Нет возможности развития функций искусственного интеллекта

TransEnterix

- Размер – больше, чем da Vinci
- Цена – сопоставима с da Vinci
- Отсутствие продаж в течение 3 лет (есть CE Mark)

Medrobotics

- Трансоральный робот – другая анатомия

CMR

- Прототип – испытания на трупах – мало данных
- Испытания на трупах до испытаний на животных – знак проблем с операциями на живых тканях

VERB SURGICAL

- Verb объявил о первом прототипе в январе 2017 г. – пока мало данных о проекте

Рис. 6. Хирургические роботы – кроме Da Vinci

В 2013 году мы поставили такие задачи перед российскими инженерами.

Главной задачей было создание новой машины, которая имела бы те же степени свободы и такие же возможности доступа в труднодоступные пространства, а также имела простое крепление к операционному столу и пространство для внедрения «искусственного интеллекта» (рис. 7).

Остается мечтой, чтобы это все входило в систему ОМС!

В Пензе в марте 2018 года были продемонстрированы отдельные этапы хирургического вмешательства с использованием российского робота на животном, которое в последующем принесло здоровое потомство.

Конечно, это были предварительные результаты, потому что нужно еще сделать дополнительный инструментарий.

Проф. V.Patel уже попробовал работать на Российском роботе, на модели пациента. И уже сделал замечания, которые нам кажутся очень важными потому, что сформирована международная группа специалистов, которые являются комитетом экспертов по внедрению российской робот-ассистирующей машины.

Премьер-министру Японии Синдзо Абэ на экономическом форуме совместно с генеральным директором Российского фонда прямых инвестиций Кириллом Дмитриевым также продемонстрирован наш робот: мы рассказали о тех возможностях, которые имеются у нашей разработки.

Москва 2013... Постановка задачи

- Минимальная инвазивность и высокая точность
- Степени свободы +++
- Два полноценных рабочих места
- Компактность +++
- Доступ для «мини-пространств»
- Новое инженерное решение (по возможности)
- Простое крепление +++
- Пространство для внедрения «искусственного интеллекта»

Рис. 7. Работа над созданием Российского робота в 2013 г. – задачи

Важно, что сформирована группа специалистов из Европы, Австралии и США, которые вместе с нами совместно определяют «векторы развития» робот-ассистированной хирургии.

Создание роботических инструментов – это отдельная задача, которую выполняют разные инженерные группы. На сегодняшний день мы можем сказать, что наши инструменты будут одноразовыми, обладающими высокой точностью, легкостью и простотой. Надеемся, что инструменты смогут по своей стоимости войти в систему ОМС, что, по мнению урологического сообщества, очень важно.

Основные, по мнению нашего медицинского сообщества, преимущества робот-ассистированных операций: это стандартизация операций и их этапов, минимальное пребывание пациентов в стационаре и скорейшее восстановление.

Интересно, что на «открытую» хирургию весь мир тратит очень много денежных средств. Мы говорим о 170 млрд. \$ ежегодных затрат в Америке, и свыше 40 млрд. \$ – это затраты на повторные госпитализации. Мы с Вами прекрасно понимаем, что мы с этим столкнемся и в нашей стране, когда будем говорить непосредственно о тех ожиданиях, которые имеют наши пациенты.

Статистика свидетельствует, что сегодня гинекология уже на первом месте в мире по числу робот-ассистированных операций, потом урология, затем – специалисты общехирургического профиля, отдельно – специалисты тазовых направлений, таких, например, как колоректальные операции.

Можно задать себе вопрос: «Какова же следующая задача? Что нужно сделать, чтобы уже созданный прототип – российский робот-ассистирующий комплекс – завершил свою разработку, и мы могли бы перейти к промышленному производству данного комплекса?» (рис. 8).

Прежде всего, необходимо завершение разработки инструментария с продолжением операций на животных, поиск ключевых стратегических инвесторов и заводов-производителей.

Об этом мы будем говорить в обсуждении в Академии наук, в Минобрнауки России и в Минпромторге России. Если мы создаем эту «машину», то должна быть система обучения, система поддержки данного инструментария.

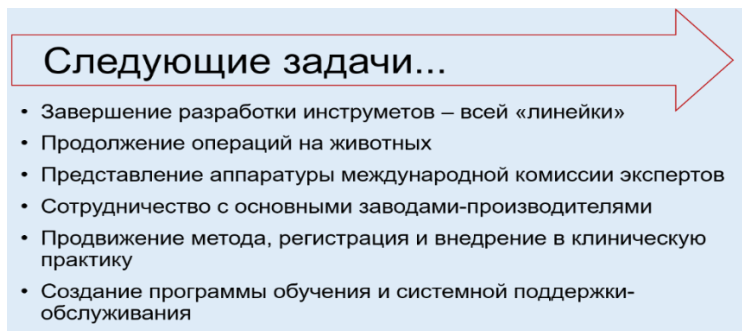


Рис. 8. Российский робот-ассистирующий комплекс – планируемые этапы развития

Решение указанных задач позволит внедрить робот-ассистированную хирургию в систему ОМС. Мы можем быть первой страной, которая это сделает. Мы глубоко убеждены, что «силы» в стране для этого есть и медицинские, и инженерные – это можно, прежде всего, сделать в рамках центра «РОБОМЕД», который может стать российским научно-исследовательским центром.

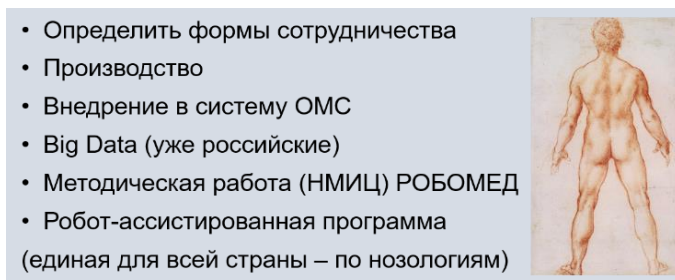


Рис. 9. Робот-ассистированная хирургия в России – важные задачи

Робот-ассистированная программа должна быть доступна для всей страны. Это и ОМС, и BIG-DATA, когда мы собираем информацию воедино, а потом используем ее. Это первый пример искусственного интеллекта. Он может быть внедрен через хирургию, которая многим на первый взгляд кажется примитивной (ибо она не связана с микробиологией и с клеточной медициной). Тем не менее, это то, о чем мы должны помнить – чтобы говорить о прогрессе в медицине и в хирургии, а также чтобы говорить о том, как изменилась эта хирургия (рис. 9).

Огромное спасибо за внимание, и я еще раз хочу поблагодарить Президиум Российской академии наук за предоставленную возможность рассказать Вам о робот-ассистированной программе в целом и в нашей стране.

Д.В. Морозов¹

Генетические технологии для медицины – потребности общества и бизнеса

Генетические технологии – основной драйвер развития современной медицины и фармацевтики не только на западе, но и в России.

Мы уже разработали и внедрили в производство аналоги большинства современных биотехнологических препаратов. Разработки обеспечивают импортозамещение, несут за собой огромный экономический эффект, но главное – повышают доступность эффективной терапии для российских больных. Например, появление на рынке нашего биоаналога трастузумаба–препарата, жизненно необходимого для значительной части пациентов с раком молочной железы, – за два года снизило стоимость лечения на 65%. В прошлом году трастузумаб получило на 68% больше больных, чем в 2015. При этом уже на второй год после выхода препарата экономия государства достигла 2,5 млрд рублей.

После успешного освоения технологии производства биоаналогов мы обладаем всеми необходимыми компетенциями для разработки оригинальных биотехнологических препаратов. В конце 2018-го мы представили результаты II фазы клинических исследований пролголимаба– анти-PD1 препарата, применяемого при метастатической меланоме. Более 30% больных с множественными метастазами демонстрируют выраженное уменьшение размера и числа опухолевых очагов, еще у трети больных рост опухоли останавливается. Ожидается, что выход пролголимаба существенно снизит стоимость лечения пациентов и сделает современные иммуноонкологические препараты доступнее для них.

И мы верим, что Россия станет первой страной, которая сможет обеспечить инновационным иммуноонкологическим методом терапии всех пациентов с впервые выявленной метастатической меланомой. Другой оригинальный препарат российского производства – нетакимаб, анти-IL17, применяемый для терапии тяжелого псориаза – также показал хорошие результаты в рамках клинических исследований (рис. 1). Более чем у 98% пациентов этот препарат позволил достичь выраженного эффекта- примерно у половины полностью исчезли проявления псориаза. Это также одна из самых ожидаемых пациентами разработок на основе моноклональных антител.

Следующий наш шаг – разработка генотерапевтических лекарственных препаратов. Разработка этих препаратов стала возможной, благодаря активному развитию в последние 10-15 лет генетических технологий. Это новое поколение препаратов, механизм действия которых основан на модификации генетического аппарата клеток человека. Сегодня это единственный эффективный способ борьбы со многими тяжелыми наследственными заболеваниями, которые прежде считались неизлечимыми.

¹ Генеральный директор ЗАО «БИОКАД»

Механизм действия генотерапевтических препаратов основан на проникновении генетической конструкции в клетку, где происходит либо интеграция трансгена в геном, либо его эписомальная (внехромосомная) локализация. Наиболее удобным инструментом для такой генной терапии считаются аденоассоциированные вирусы (AAV). Они отличаются безопасностью, отсутствием патогенности и низкой иммуногенностью для человека. Их используют в качестве системы доставки, и в последние десять лет такое решение стало в генной терапии наиболее распространенным и универсальным.



Рис. 1. Российские инновационные биотехнологические препараты: нетакимаб (BCD-085)

На сегодняшний день существуют десятки схем доставки трансгенов *in vivo*, в которых применяются именно гAAV (рис. 2). Поиск и получение новых серотипов гAAV с уникальным тропизмом и с повышенной пакующей емкостью имеет решающее значение в разработке препаратов нового поколения. Так, полученные на моделях *in vitro* и *in vivo* данные о противоопухолевом эффекте разработанного в России клеточного продукта anti-CD19 CAR-T уже демонстрируют возможность успешного лечения гемобластозов с применением генетически модифицированных Т-лимфоцитов. Сейчас производятся работы по масштабированию процесса производства CAR-T для запуска программы клинических исследований, а также дальнейшей оптимизации схемы введения клеточного препарата и контроля аспектов безопасности его применения.

Стратегии развития таких препаратов могут быть разнообразны. Но, если говорить об отечественной CAR-T-терапии, то, мы уверены, следующим этапом развития технологии станут работы над уменьшением побочных эффектов. Для этого наши ученые ведут поисковые работы по созданию технологий модификаций иммунных клеток человека: исключения

экспрессии Т-клеточного рецептора и молекул главного комплекса гистосовместимости, внедрения в CAR-T-клетки молекулярных систем «антидота», тестирования комбинаций CAR-T-терапии с иммуноонкологическими препаратами – моноклональными антителами-ингибиторами контрольных точек и иммуноцитокинами. Создание универсального метода CAR-T способно повысить доступность терапии, понизив ее стоимость (рис. 3).



Рис. 2. Генотерапия тяжелых наследственных заболеваний

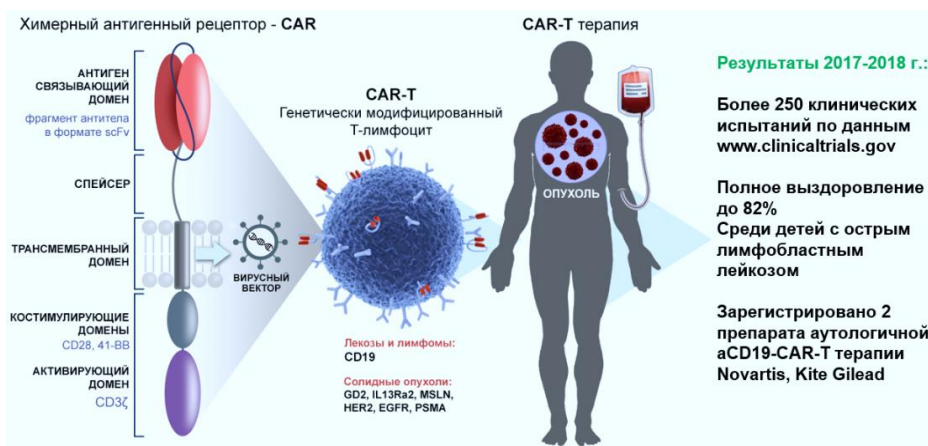


Рис. 3. CAR-T терапия: новая эра в лечении онкологических заболеваний

Разработки варьируются по степени готовности от доклинических исследований до III фазы клинических испытаний. И мы верим, что уже в ближайшие годы российская фарминдустрия одержит победу над такими заболеваниями, как гемофилия, миодистрофия Дюшенна и спинальная мышечная атрофия. Создание генотерапевтических препаратов для лечения наследственных заболеваний, не поддающихся традиционному лечению, – один из наших важнейших приоритетов.

Еще одна активно развивающаяся область применения генетических технологий – генодиагностика. Роль генетической информации и удешевление технологий ее получения растет. Одной из областей, где уже используются возможности генодиагностики, является персонализированная медицина. Информация, хранящаяся в геноме человека, позволяет предотвратить развитие множества заболеваний, повысить эффективность лечения и улучшить качество жизни. Успешным примером ее использования можно считать комплексный подход к диагностике онкологических заболеваний, в рамках которого на основе «молекулярной сигнатуры» опухоли, опухолевого микроокружения и микробиома формируется индивидуальная комбинация вариантов терапии.

Но широкое распространение генодиагностики и передовых генетических технологий в России невозможно без создания отечественных секвенаторов нового поколения, работа которых основана на новых физических принципах. Новое оборудование обеспечит высокое качество диагностики и низкую стоимость обследований, что сделает метод более доступным и, следовательно, более массовым. Именно поэтому особенно перспективным в этой высококонкурентной технологической нише нам кажется сотрудничество коммерческих компаний и академических учреждений.

Для реализации проектов по развитию передовых генетических технологий необходимы специалисты с уникальными компетенциями, потребность в которых постоянно растет. За последние три года штат научных сотрудников в компании BIOCAD вырос в два раза. Ежегодно компании необходимы еще 150-200 высококвалифицированных сотрудников, способных поддержать увеличение числа проектов и направлений исследований. Большая часть этих сотрудников – специалисты в области генетики, клеточной и молекулярной биологии.

Однако, несмотря на высокий уровень подготовки кадров по естественнонаучному направлению, которым славится Россия, академическая наука не всегда успевает за изменениями в отрасли и ее потребностями. Именно поэтому мы считаем оптимальной моделью, способной предотвратить недостаток кадров, сотрудничество бизнеса и науки в области обучения. BIOCAD открыта для стажировок студентов различных направлений. Более того, компания реализовала более 10 масштабных проектов, среди которых в том числе магистерские программы. СПХФУ готовит студентов по направлению «Биомедицина и биоинженерия», МФТИ – по направлению «Биоинформатика», а факультет в ПушГЕНИ – по направлению «Молекулярная и клеточная биотехнология».

Совместные образовательные программы дают фундаментальные университетские знания, но обогащают их реальными практическими навыками, которые студенты оттачивают на прикладных задачах — в процессе работы над реальными проектами компании. Подход показывает отличные результаты: почти все выпускники профильной программы ПушГЕНИ трудоустроены в ВЮСАД.

Чтобы выстроить полноценную систему образования специалистов, заточенную под практику современной фармацевтики, мы планируем открыть бакалавриат по биоинженерии на базе ведущего вуза Санкт-Петербурга – СПбГУ. Также в 2019 году, в рамках сотрудничества с НГУ в области CRISPR, будут запущены два авторских курса: «Инновационные направления биотехнологии в фармацевтике» и «Редактирование генома».

Именно тесное взаимодействие между академической наукой, образовательными учреждениями и компаниями должно стать ключевым фактором успешного развития российской науки и промышленности в области биотехнологии и биомедицины. Реализация образовательных проектов помогает осуществлять подготовку студентов с учетом потребностей и изменений индустрии, которые произойдут в ближайшие 5-10 лет.

Но польза от этого сотрудничества чувствуется уже сейчас. Оно предоставляет рабочие места для выпускников научных специальностей и почти полностью удовлетворяет потребности бизнеса в молодых квалифицированных кадрах, необходимых для запуска инновационных и передовых проектов – в том числе внедрения современных генетических технологий.

П.М. Чумаков¹

Обеспечат ли онколитические вирусы революцию в онкологии?

Все знают, что злокачественные заболевания – это один из наиболее серьезных вызовов здоровью человечества. На решение этой проблемы последние 70-80 лет были брошены беспрецедентные ресурсы, как интеллектуальные, так и материальные.

Но что мы на сегодняшний день наблюдаем? Злокачественные заболевания продолжают расти. Причем растут они не только в нашей стране, но и в развитых странах, где, собственно, передовая медицина, высокотехнологичная медицина. И растут эти заболевания не только в количественном выражении, но и по смертности.

В частности, пример для Японии – рост злокачественного заболевания рака молочной железы в период с 1975 по 2012 год. За этот период в четыре раза выросло как количество случаев, так и смертей.

Наибольшие проблемы – это пятилетняя выживаемость. А связана она прежде всего с тем, что, во-первых, очень поздно выявляется заболевание, когда практически уже рак получил распространение, и требуется системная терапия.

Так в США 57% заболеваний рака легкого выявляется в такой стадии. Пятилетняя выживаемость всего 4,3%. О чем это говорит? О том, что системная терапия практически не работает, то есть она работает, но не дает шанса на полное излечение. Конечно, нам как ученым, прежде всего, требуется разобраться в причинах, почему так происходит. Потому что, разобравшись в причинах, во-первых, мы сможем избежать лишних трат средств на создание все новых и новых препаратов, которые в конечном счете практически будут давать такой же результат.

Начну с того, чем все-таки отличаются раковые клетки от нормальных. Нормальная клетка совершает самоубийство, если в ней возникают какие-то сбои или какие-то мутации. Раковую клетку от нормальной отличает то, что она утрачивает эту способность, поэтому она может накапливать мутации, изменения и происходит накопление таких мутаций.

Таким образом, опухоль вообще состоит из большого количества самых разных клеток, и когда к опухоли применяется системная терапия, которая убивает, предположим, даже большую часть клеток, какая-то часть клеток оказывается более устойчивой и это ведет к отбору наиболее агрессивных вариантов, и в конечном итоге возникает рецидив.

Кроме того, есть такие клетки, как стволовые клетки, которые наиболее устойчивы к терапии. Их очень мало в опухоли. Они очень устойчивые, поэтому в конечном итоге они тоже дают рецидив.

Таким образом, как при применении малоспецифичных сильных препаратов – таких, как токсические, так и применении таргетных препаратов

¹ Заведующий лабораторией Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, доктор биологических наук

лечение практически обречено на неудачу в конечном итоге, потому что всегда на раковые клетки в опухоли найдутся такие варианты, которые обойдут эту терапию.

Нам надо подумать, какая должна быть стратегия для того, чтобы преодолеть эту ситуацию. Очевидно, что современная системная терапия, которая направлена в основном на удаление уже возникших опухолевых клеток, в общем не работает. Вместо этого надо создавать такую терапию, которая будет направлена на предотвращение самой возможности накопления раковых клеток в организме, и в итоге терапия должна сочетать высокоспецифичное удаление опухолевых клеток с восстановлением естественных механизмов удаления раковых клеток в организме.

Теперь надо рассмотреть, какие же природные механизмы существуют и для того, чтобы создавать такие природоподобные технологии, которые будут эффективными при лечении опухолевых заболеваний. Первый механизм контроля – это внутриклеточный, о котором я говорил, что клетка совершает самоубийство, поэтому это не дает дальнейшего шанса этой клетке превратиться в раковую. Это система опухолевого супрессора p53, которой наша лаборатория посвятила около 40 лет работы.

Следующая система – это врожденная иммунная система, то есть это удаление раковых клеток, распознавание удаления раковых клеток по каким-то характерным «автографам» на месте выявления. Это в основном такие натуральные киллеры, это естественные убийцы, которые выявляют и убивают таковые клетки. Наконец, существует также адаптивная иммунная система, отвечающая на новые антигены, которые имеются в опухолевых клетках, и соответственно вырабатывается ответ против опухолевых клеток и их уничтожение.

Что же происходит, когда возникает рак? Очевидно, что эта система не срабатывает, хотя в организме каждого из нас имеется некоторое количество раковых клеток, которые постоянно удаляются этой системой.

Что же происходит, почему возникает такой сбой (см. рис. 1)?

Во-первых, опухоль начинает секретировать определенные факторы, которые способствуют прорастанию в нее сосудов, то есть это обеспечивает ее питание, поэтому она может выживать.

Во-вторых, опухоль, очень хитро выделяя факторы, привлекает определенные компоненты иммунной системы и делает их неактивными. В частности, миелоидные супрессорные клетки фильтруют опухоль и защищают ее своими различными факторами от атаки иммунной системы.

Наконец существует недавно открытый механизм, когда проникающий в опухоль цитотоксический Т-лимфоцит, являющийся главным агентом, который убивает опухолевые клетки, практически выключается при контакте с опухолевой клеткой, поскольку опухолевая клетка научилась на своей поверхности экспрессировать определенные белки, которые, взаимодействуя с Т-лимфоцитом, выключают эти так называемые белки контрольных точек.

В результате опухоль начинает развиваться, и дальше уже вступают все эти негативные факторы, о которых уже шла речь.

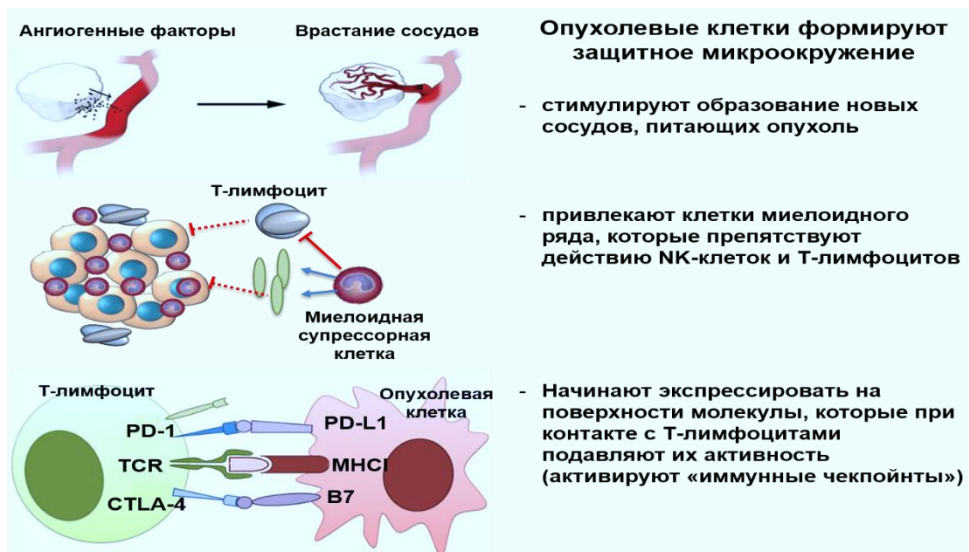


Рис. 1. Защитное микроокружение опухолевых клеток

На пути создания таких технологий, которые будут направлены на уничтожение более физиологическим способом, существует очень много современных методов иммунотерапии (рис. 2). Это очень большая область, она включает в себя методы пассивной иммунотерапии и активной иммунотерапии. Здесь они перечислены. Как один из компонентов активной терапии здесь указан и онколитический вирус, о котором речь пойдет позже.



Рис. 2. Виды современной иммунотерапии

В общем, на данный момент мы наблюдаем, что наша терапия злокачественных заболеваний сейчас – это комбинированный подход, который использует все возможные методы для того, чтобы бороться с заболеваниями. Это ингибиторы ангиогенеза, что препятствует прорастанию сосудов. Это ингибиторы вот этих иммунных точек, контрольных точек. Тем не менее, статистика говорит о том, что все эти даже комбинированные факторы не могут справиться с такими стадиями заболевания, когда рак уже распространился. То есть это вопрос уже времени.

Перехожу к вирусам. Не поворачивается язык сказать, что это новый метод, потому что это свойство было известно на самом деле более ста лет назад. Еще в 1904 году было обнаружено, что возможен рецидив онкологического заболевания при перенесенных вирусных инфекциях.

В 20-е годы опухолевые клетки стали использовать для наращивания вирусов, потому что они очень хороший субстрат для наращивания вирусов, и в 50-е годы были предприняты первые попытки использования вирусов для лечения рака. Но в то время еще не были известны практически безопасные вирусы, поэтому неизбежно эти попытки потерпели неудачу.

В 60-е годы в Советском Союзе в Институте полиомиелита также были предприняты такого рода эксперименты после того, как были выделены непатогенные энтеровирусы, Эти результаты были достаточно впечатляющими, но в то же время было непонятно, почему в некоторых случаях эффекта не было вообще, и со временем эти исследования были свернуты.

Новый период в развитии этой области начался уже в середине 90-х годов, когда уже очень многое узнали о природе вирусов, о природе опухолевой клетки. Были созданы рекомбинантные вирусы, которые были лишены патогенности и которые очень специфичны. Сейчас мы наблюдаем такую ситуацию, когда практически очень многие компании в мире занимаются разработкой препаратов на основе вирусов.

Уже было сказано, какое действие оказывают на опухоль. На самом деле вирусы оказывают комплексное воздействие на заболевание. Прежде всего, они обладают повышенной способностью размножаться и убивать клетки опухоли. Это очень важное свойство.

Однако, помимо этого, одним из важных свойств вирусов еще является существенное стимулирование процессов врожденного и адаптивного противоопухолевого иммунитета. Очень важной также является способность вирусов снимать вот эту иммунную супрессию в опухоли, когда опухолевые клетки практически защищают себя от действия иммунной системы, и сейчас имеются примеры, я бы сказал, в общем-то чудесного излечения ранее неизлечимого заболевания в отдельных случаях. Например, в случае глиобластомы на поздних стадиях меланом, однако здесь, конечно, имеются проблемы, о которых я буду говорить.

Отмечу, что вирусы размножаются в опухолях, потому что, во-первых, им гораздо легче добраться до опухолевых клеток благодаря дезорганизованной структуре опухоли. Кроме того, очень важным фактором является то, что раковая клетка прежде всего утрачивает все, что нужно ей для

функционирования в организме. В частности, одна из первых утрат – это утрата противовирусного иммунитета, способности сопротивляться вирусам. Это так называемая интерфероновая система. Поэтому раковая клетка практически оказывается обезоруженной перед вирусом.

На этом, собственно, и основан этот предполагаемый метод терапии.

Вирусы, попадая в опухоль, оказывают очень комплексное воздействие на микроокружение, – они практически демодифицируют таким образом, что иммунная система вновь начинает распознавать раковые клетки и приходить к активной атаке.

Какие вирусы могут быть онколитическими? Огромное количество вирусов может быть онколитическими. Главное, чтобы они были не патогенными, и чтобы были цитотоксическими. Поэтому на основе очень многих вирусных семейств сейчас создаются вирусные препараты.

Поскольку сейчас мы многое знаем о вирусах, можно удалять определенные гены, которые не желательны, оставлять какие-то гены, которые обладают дополнительными терапевтическими свойствами. В общем, это универсальный вектор, который может доставлять в опухоль какие-то целебные воздействия.

Сейчас практикуются даже синтетические вирусы, когда можно на бумаге нарисовать структуру предполагаемого вируса, потом его синтезировать, оживить, и он будет жить и действовать, как задумано.

Уже одобрены три препарата к применению в клинической практике: в США (на основе вируса герпеса, который наконец-то разрешен и применяется при злокачественной меланоме), в Латвии (вирус одобрен в Европейском Союзе) и в Китае (аденовирус).

Известные онколитические компании, которые разрабатывали такие вирусы, все больше вызывают интерес крупных фармацевтических гигантов, которые начинают скупать и потихоньку внедрять эти методы.

Что в СССР и в России? Как я уже говорил, в 60-е годы предпринимались попытки по полиомиелиту. Было получено 15 штаммов непатогенных энтеровирусов, которые применялись в качестве живых энтеровирусных вакцин для других целей. И тогда же было обнаружено, что они обладают онколитическими свойствами, но потом эти работы были свернуты.

В Онкологическом научном центре испытывались препараты антивируса Сендай, тоже было много успешных наблюдений. Однако, эта работа была свернута. До сих пор идут ограниченные испытания вируса болезни Ньюкасла. В 90-е годы были получены определенные гранты на испытания аденовирусов, в частности был создан аденовирус в новосибирском институте под руководством С.В. Нетесова.

В 2010 г. был получен мегагрант на создание лаборатории в Новосибирске, которая должна заниматься исследованием онколитических вирусов. И это стимулировало такого рода работы. Был создан ряд препаратов, и как следствие – были привлечены исследователи из других институтов. Недавно в «Векторе» и в Новосибирском институте фундаментальной медицины и химической биологии совместно был создан препарат на основе вирусной

вакцины. Также активно мы занимаемся в Институте молекулярной биологии и в бывшем Институте полиомиелита.

Несколько примеров действия онколитических вирусов.

Например, глиобластома – абсолютно смертельное заболевание. Это случай больного, когда он заболел в 1994 г. Эта опухоль полностью химиорезистентная, – практически это терминальный случай. Но ежедневное введение вируса Ньюкасла привело к тому, что больной до сих пор жив. Спустя столько лет – полное излечение!

Пример рака печени, множественные опухолевые очаги. Введение в одно место: даже там, куда вирус не вводился, практически опухоль исчезает.

Почему вирусы так медленно продвигаются в клинику, если они обладают такими свойствами? Это, конечно же, традиционная болезнь вирусов, как возбудителей болезней, и не готовность фарминдустрии, во-первых. Во-вторых, это непредсказуемость действий. Я говорил о положительных эффектах, тем не менее это не у всех больных происходит. Опухоль очень индивидуальна и на каждый вирусный препарат реакция может быть очень ограничена. В результате при использовании одного препарата получаются не очень впечатляющие результаты.

Здесь много проблем, но главная проблема – непредсказуемость. Но если опухоль устойчива к одному вирусу, это не значит, что она устойчива к другому. Поэтому сейчас мы создаем большие панели вирусов, которые обладают разными специфическими спектрами. Мы пытаемся использовать их таким образом, чтобы, прежде всего, персонафицировано применять пациентам. Для этого нам требуется разработка специальных онкотестов, которые позволят предсказывать, к какому вирусу данный пациент будет чувствителен. Для этого мы используем методы скриптоники, протеомики и сопоставления с результатами испытаний на культурах.

Более того, самое важное – понять, насколько это безопасно. Весь мировой опыт говорит о том, что онколитические вирусы крайне безопасны, и это мы видим на ограниченных испытаниях на больных четвертой стадией рака.

Хочу сказать, что уже сейчас ясно, что это очень мощный и очень многообещающий метод. Для того чтобы его внедрять далее, надо изучать очень многие проблемы, здесь возникающие, в рамках именно Российской академии наук, поскольку это большая фундаментальная проблема.

Мы сейчас сталкиваемся с такими вызовами, которых раньше не было. Мы должны понять очень много вещей, которых раньше не было. Если раньше мы рассматривали вирусы как врагов и пытались их убить, сейчас мы должны понять: в каких клетках вирусы могут размножаться, как это зависит, какие факторы, как можно создать новые варианты вирусов, которые будут поражать другие типы клеток.

Здесь огромное количество фундаментальных проблем, но эти проблемы надо развивать в привязке с клиникой, считая своей целью быстрое внедрение этих технологий в практику. Поэтому я призываю медицинское сообщество быть более открытым к испытаниям такого рода препаратов, которые во всем мире уже зарекомендовали себя как безопасные и очень эффективные.

И.И. Дедов¹

Самое эффективное лекарство во все времена: СЛОВО ВРАЧА

Хотел бы обратить вновь внимание на персонализацию, о чем, собственно, сегодня и идет основная речь, – о персонализированной медицине.

И вообще то, что Российская академия наук и власть выстроили сегодня семь таких мощных приоритетных направлений, объединяющих разные направления науки и технологий в биологии, медицине, физике, математике и так далее, это, конечно, большой прогресс за последние годы. И, безусловно, надо сказать добрые слова в адрес, прежде всего, Александра Михайловича Сергеева и поддержать это, потому что интерес очень большой. Мы с огромным вниманием слушали интереснейшие доклады, в том числе и технического порядка.

Персонализированная медицина – это предиктивная медицина, предсказательная: предсказать риски заболевания и нивелировать эти риски. И мы восторгаемся, конечно, и роботами, и синхротронами, и гамма-лучами. Но это финальная стадия, когда надо уже убирать метастазы. А для нас и ученых всего мира очень важно, конечно, знание генома, использование его и генетических предикторов в предсказании заболеваний.

В этом отношении развитие науки идет сегодня очень бурно, в том числе в России. Во всяком случае, есть попытки экзомного, а потом полноэкзомного секвенирования. Сегодня реализуется – полногеномное секвенирование. Потому что сегодня, например, при том же сахарном диабете, идет атака на иммунную систему, причем на клетки, где нет пролиферативного пула, нет антигенности. И мы не понимаем, почему. Думаю, создание полногеномных центров позволит нам ответить на очень-очень многие вопросы, как в области аутоиммунных атак, так и неопластических процессов.

Сегодня медицина лечит болезнь, а не больного. Что сегодня представляет протокол или стандарт? Это колея, выработанная глобально всеми, это международный консенсус по разным болезням, небольшая такая, неширокая колея, ограждающая от грубых ошибок, начиная от не опытного врача до университетского профессора. При этом мы лечим болезнь. И когда мы создаем искусственный интеллект, мы тоже этим занимаемся, создаем цифру для того, чтобы врач с периферии обратился туда с выявленными симптомами больного, и потом наша сеть подсказала что-то, какие-то движения в диагностическом поиске или выбора методов лечения.

Но сегодня уже очевидно, что лечение по этим совершенно глобальным колеям, этим болезням, безусловно, неэффективно. В настоящее время 75 процентов врачей, работая по этому международному консенсусу (а он базируется на огромном массиве доказательной медицины) не получают в 75 процентах случаев желаемого результата.

В Америке, где страховая компания AIG очень жестко отслеживает более 2,5 миллионов лекарственных осложнений, более 200 тысяч

¹ Президент «Национального медицинского исследовательского центра эндокринологии» Минздрава России, академик РАН

человек умирает, хотя и лечатся по международному консенсусу и теми же лекарствами, которые рекомендованы.

Поэтому, безусловно, персонализация, персонализированная медицина – это будущее профилактической медицины, которая даст большие результаты.

Сегодня, когда двое объединяются в семью, казалось бы, можно предсказать здоровье ребенка, взяв генетический материал одного, второго, исключая наследственные заболевания. Это легко делать – есть бластомеры или бластоциты. Вот они объединяются, и вроде бы они абсолютно нормальные. А за 9 месяцев, это лучший вариант, когда 9 месяцев, а иногда рожают и в 22 недели, когда за каждый день беременности надо бороться; а на выходе беременности может оказываться более 250 орфанных заболеваний. Поэтому период беременности, конечно, очень важен. Проходят очень сложные процессы, и мы их должны, безусловно, хорошо изучать.

Еще один пример. Рождается ребенок с трехкамерным сердцем. И врачи, особенно хирурги, сразу начинают что-то придумывать. Да это, в общем-то, сердце амфибии. Просто мы проходим эволюцию от рыб, от амфибий, т.е. этапы филогенеза. Или рождается ребенок с клоакой. Это тоже оттуда, да еще до млекопитающих. Или с высокой аортой, как у птицы.

Хочу сказать, что специалистов очень мало. Коллеги здесь говорили, что сегодня найти специалиста по биоинформатике, глубокой генетике, эволюции, эмбриологии, математическому анализу практически невозможно. Вот вчера прозвучало, что на какой-то контрольной половина учителей математики не ответили на какие-то элементарные вопросы.

Я думаю, что лучшие математики, начиная с восьмого класса, уже приглашены за рубеж. Я знаю случаи, когда отсюда уже с восьмого класса миссионеры забирают талантливую молодежь и направляют на запад. А остальные остаются в наших стенах.

Коллеги, когда мы говорим о персонализированной медицине и современных технологиях, я хотел бы, чтобы мы не забывали человека. Гиппократ сказал: «Не говорите мне о его анализах, я должен знать прежде всего, кто он, пациент, передо мной, откуда».

И я хочу вам привести вот этот текст, который написан 100 лет тому назад: «Я верю, придет день, когда мы, заболев и не ведая причины недуга, доверимся физикам, которые, ни о чем у нас не спрашивая, возьмут кровь, выведут на основании ее анализа несколько величин, после чего, заглянув в таблицу логарифмов, исцелят нас какой-нибудь пилюлей».

И все-таки в случае, если я заболею, то, пожалуй, пойду к старому сельскому врачу, который взглянет на меня искоса, пощупает мой живот, выслушает мои легкие, потом немного покашляет, раскурит свою трубочку, почешет бороду, и чтобы вернее меня исцелить, улыбнется мне». Это сказал Антуан де Сент - Экзюпери.

Сто лет тому назад, какие бы технологии не были сегодня созданы, какие аппараты бы ни были, но сегодня формализация и цифровизация медицины ведет к тому, что мы утрачиваем контакт с врачом, а из всех технологий самым главным окажется все равно слово врача.

Г.Т. Сухих¹

Выступление по тематике приоритета

Иван Иванович замечательно закончил свое выступление.

Приведу пример. Из Чеченской Республики привезли молодую девушку 21 года с полиорганной недостаточностью. У нас пошли третьи сутки. И только современная технология, огромные объемы плазмозамещения и плазмофильтрация позволили сегодня этой девушке (уже с двумя детьми) дать надежду на будущую жизнь.

Все аппараты и все технологии, которые мы используем (я продолжаю линию по робототехнике) – это не наши системы. Поэтому я хотел бы поблагодарить Российскую академию наук и Президиум, за то, что создали эти два дня праздника, когда мы можем что-то сказать и услышать друг друга, можем к кому-то обратиться и обсудить наболевшие проблемы. Нам надо встречаться чаще, нам надо думать друг о друге. Это первое.

Второе. Если бы я ступил через балкон, я бы падал вниз по законам Ньютона. Но, если мы посмотрим на уровне клеток (мы макросистема), то увидим, что мы подчиняемся квантовой физике, а дальше наступает разрыв. На уровне клетки это наноструктура, это наномашина, это наносистемы.

Мы много говорим о генетике, о молекулярной биологии. В этом зале сидит великий наш учитель, мой старший товарищ академик Свердлов Е.Д. Написав новую главу огромной книги, он задает себе вопрос: «И что, мы стали ближе к ответу на самый простой вопрос – что такое жизнь?» Нет.

Мы видим, что сегодня мы постоянно ходим вокруг последних достижений молекулярной генетики, биологии, клеточной биологии и все время говорим об опухоли. По сути дела, три платформы: эмбриональное раннее развитие, наше старение и этот опухолевый процесс. Опухоль – это цена за нашу многоклеточность, это цена за нашу долгосрочную жизнь, которую мы хотим удлинить еще больше.

Я горд выступлением Д.В. Морозова, который показал, что у нас, в этой тяжелой новейшей 25-тилетней истории мы смогли создать блестящие вещи, о которых он говорил достаточно скромно.

Мы – великая, многоклеточная, сложнейшая, живая непредсказуемая система. Поэтому усилия физиков, усилия людей, которые могут дать понимание и новые горизонты в диагностику и в управление живыми системами, – это то, что нам нужно сделать.

В зале сидит великий человек – академик Галина Михайловна Савельева, супруга великого ушедшего несколько лет назад из жизни хирурга, Героя Социалистического Труда Савельева. Несколько месяцев тому назад Галине Михайловне исполнилось 90 лет. Это блестящий человек, активно работающий, который несколько месяцев тому назад получил Звезду (это третья звезда в медицине) Героя России. Мы гордимся этим человеком, и Российская академия наук гордится ею.

¹ Директор «Национального медицинского исследовательского центра акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Минздрава России, академик РАН

Е.Л. Чойнзонов¹

О Межведомственном совете при Минздраве России

Та высокая задача, которая поставлена Президентом страны, заключается в том, что нынешнее поколение российских людей будет жить до 80 лет. Это ставит перед нами, медиками, и перед научной медицинской еще более сложную задачу.

Если на сегодняшний день в мире ежегодно регистрируется порядка 14 миллионов человек, больных злокачественными образованиями, то через 20 лет эта цифра будет достигать 21 миллиона, причем сегодня погибает около 8 миллионов человек от злокачественных образований, не прожив и одного года после постановки диагноза.

Сегодняшняя наша научная сессия как раз направлена на то, чтобы общими усилиями мультидисциплинарно подойти к пониманию тех механизмов, которые происходят в организме больного злокачественными образованиями, и принять решение по улучшению показателей выживаемости онкологических больных.

Почему же мы терпим неудачи, занимаясь лучевой терапией, хирургическим лечением, занимаясь применением таргетных препаратов и онколитических вирусов? Мы должны понять, что существует гетерогенность. Опухоль сама по себе разноликая. Мы занимаемся онколитическим действием одной группы опухолей, а другая группа при этом успешно развивается. Если мы научимся воздействовать на разные группы опухолевых клеток, тогда достижения онкологов будут значительно выше.

Сегодня Российская академия наук обращается к очень важной проблеме. Здесь надо безусловно сказать слова благодарности и президенту РАН, и Президиуму, и академику Макарову, который является председателем Совета по приоритету.

Мы сегодня должны понять, что сегодня персонализированная медицина – это пока только поиск путей подхода к персонализированной медицине. На самом деле это только первые шаги, и, безусловно, наша общая задача научно-медицинской общественности, задача Академии наук принять, найти общие подходы. Сегодня Минздрав России в лице Сергея Александровича Краевого говорит о том, что надо общими усилиями подойти к улучшению показателей выживаемости. Но многие разработки академических институтов, которые занимаются поисковыми темами, долгие годы лежат на полках и не могут быть внедрены в практику здравоохранения. Это лучшие методы, лучшие технологии, это лучшие методики.

Я, обращаясь к Сергею Александровичу, хочу сказать, что при Министерстве здравоохранения должен быть создан Межведомственный совет, который объединит усилия многих наших институтов, и тогда результаты лечения будут выше, здоровье нации улучшится, и долгожительство не будет редким явлением в нашей с вами практике.

¹ Директор НИИ онкологии Томского НИМЦ, академик РАН

Ю.В. Гуляев¹
Пути внедрения маммографа

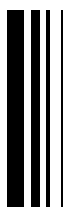
На прошлом Общем собрании Александр Михайлович говорил о созданном нами маммографе, основанном на электрорезонансном принципе, то есть на трехмерном измерении электрического резонанса и сопротивлении от ткани груди.

Этот маммограф является первым коммерческим прибором, который сейчас производится. Мы организовали его мелкосерийное производство на Ярославском радиозаводе с участием ярославской Медицинской академии. Уже более тысячи приборов имеются в клиниках нашей страны и несколько – за рубежом. Много положительных отзывов, в том числе отзыв главного маммолога нашей страны Н.И. Рыжковой.

Мне представляется, что сейчас настало время полномасштабного внедрения этого прибора. Он отличается от УЗИ и рентгена в лучшую сторону: он более четкий, чем УЗИ, более ранний по диагностике, чем рентген, и абсолютно безвредный и безопасный в отличие от рентгена.

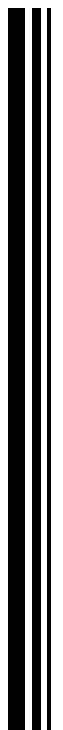
Думаю, что надо просить включить производство этого прибора в нацпроект «Наука». Это моя просьба.

¹Научный руководитель Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, академик РАН



П Р И О Р И Т Е Т **НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

**«Противодействие техногенным, биогенным,
социокультурным угрозам, терроризму
и идеологическому экстремизму,
а также киберугрозам и иным источникам опасности
для общества, экономики и государства»**



Председатель Совета по приоритету –
академик РАН ЧЕХОНИН В.П.

В.П. Чехонин¹

Вступительное слово председателя совета по приоритету

После появления двух документов, определяющих развитие и формирование Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, подписанных Президентом страны в 2016 году, а также соответствующего постановления Правительства Российской Федерации о приоритетах, была сформирована концепция, которая, по сути дела, и легла в основу формирования приоритета «Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства».

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации определяет большие вызовы, которые создают существенные риски для общества, экономики, системы государственного управления. Но одновременно представляют очень важный фактор для появления новых возможностей и перспектив научно-технологического развития страны.

Несколько слов о самом приоритете. Цель работы Совета по данному приоритету – это, конечно, выявление, отбор, формирование, мониторинг, реализация комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла по своему направлению. Базовой организацией этого приоритета являлся Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. В качестве основных критериев для отбора комплексных программ и проектов являются:

- социальная польза от реализации самого проекта;
- влияние на рост показателей безопасности общества и государства;
- потенциал российских научных организаций и научно-технический задел участников проекта;
- мировой опыт реализации сходных научно-технических задач;
- возможности проекта в аспекте стимулирования смежных исследовательских областей;
- ресурс на экономические параметры проекта;
- заинтересованность бизнеса в поддержании этого проекта.

В качестве трех направлений, которые будут сегодня рассмотрены, хотелось бы в виде вступления сделать такую ремарку.

Будет рассмотрен вопрос о методах искусственного интеллекта для решения проблем в области обеспечения национальной безопасности.

Области прикладных решений с использованием искусственного интеллекта здесь достаточно активно сегодня обсуждались. Хотел бы только сфокусировать внимание на тех решениях, которые наиболее актуальны именно в аспекте национальной безопасности. Это нейтрализация социокультурных угроз и вызовов; повышение эффективности правоохранительной деятельности, в том числе в борьбе с экстремизмом и

¹ Вице-президент РАН, академик РАН

терроризмом; предупреждение и оптимизация реакции на техногенные и природные чрезвычайные ситуации. Кроме того, решение комплекса задач по кибербезопасности.

Другой очень важной темой сегодня является обсуждение возможного формирования технологической платформы для создания инновационных препаратов, активных в отношении штаммов с множественной лекарственной устойчивостью. Неспособность крупнейших фармакологических корпораций найти в настоящее время адекватный ответ на распространение множественных лекарственно-устойчивых форм возбудителей инфекций определяет основной вызов мировому сообществу в виде глобальной нарастающей угрозы.

Хотел бы на примере туберкулеза дать такую справку. В 2017 году число заболевших туберкулезом в мире составило 10 миллионов человек. При этом число умерших – более 2 миллионов человек. Мировое научное сообщество не может дать ответ на природу генетических механизмов и причин распространения множественных лекарственно-устойчивых форм туберкулеза.

Проект создания средств борьбы с микроорганизмами, характеризующими множественную лекарственную устойчивость, должен быть междисциплинарным комплексом. Мы это отчетливо понимаем.

Консорциум, в состав которого вошли Минобрнауки России, Минздрав России, Роспотребнадзор, ФМБА России, был создан в 2017 году. А его основе подготовлена комплексная программа научных исследований по данной проблематике. Она включает в себя:

- разработку диагностикумов для выявления инфекций и генотипического определения их лекарственной устойчивости;
- создание противотуберкулезных антибиотиков нового механизма действия;
- разработку новых генно-инженерных вакцин;
- разработку адъювантов на основе пробиотиков для использования интраназальной противотуберкулезной вакцины.

Исключительно актуальны также вопросы, связанные с созданием и разработкой эффективных химических средств управления горением. Борьба с катастрофическими пожарами крайне актуальна, естественно, принесит многомиллиардные убытки и приводит к человеческим жертвам. Одна из ключевых проблем – это, конечно, разработка средств борьбы и средств управления процессами горения. Член-корреспондент РАН Варфоломеев детально расскажет об этом.

Сама проблематика сессии, которая рассматривается в этом приоритете, крайне сложна из-за многосторонности и мультифокальности подходов. Но тем и важно понимать, что как раз совместная работа членов Академии – химиков, физиков, математиков, специалистов в области информатики, других технологий – создает условия для решения ряда проблем, которые поставлены этим приоритетом.

С.А. Краевой¹

О противостоянии угрозам биологического характера

Стремительное развитие биологических технологий, достигнутое в последние годы как в экономически развитых странах, так и в развивающихся странах, относительная дешевизна исходных материалов для создания рукотворных биологических агентов, возможность использовать при их производстве оборудования, применяемого для биотехнологических производств гражданского сектора, простота в их реализации, а также доступность последних методических разработок широкому кругу потенциальных пользователей на фоне размытости моральных границ и появления различных экстремистских идеологических течений – все это создает условия для появления новых угроз в области биологической безопасности.

Усиливает эти угрозы новое направление современной молекулярной биологии и генетики, так называемой синтетической биологии, которая в современном ее понимании определяется как новая область исследования, объединяющая фундаментальные биологические дисциплины и практическую биотехнологию и биоинженерию с целью проектирования и построения новых не существовавших ранее в природе биологических систем либо модификацию известных патогенов, в том числе с заданными свойствами, что, естественно, может служить как для благих, так и для опасных целей.

Влияние различных факторов окружающей среды на микроорганизмы также приводит к стойкому наследственному изменению свойств возбудителей инфекционных заболеваний, либо к появлению новых, ранее не известных патогенов, для которых еще не разработаны средства диагностики, лечения и профилактики. Ситуация усугубляется низкой степенью готовности к подобным, в том числе преднамеренным угрозам биологического характера практически во всех странах мира.

Действующая в Российской Федерации система биологической защиты, которая, по сути дела, была представлена в постановлении Правительства от 2005 года № 303, включает в себя более 20 федеральных органов исполнительной власти и служб. Она, прежде всего, ориентирована на биологические угрозы природного характера и в настоящее время не в состоянии полноценно противостоять преднамеренным угрозам, преследующим цель дестабилизировать общественно-политическую обстановку и нанести экономический ущерб стране.

В складывающейся ситуации необходимо объединение усилий различных ведомств и научного сообщества по совершенствованию готовности государства к реагированию на угрозы биологического характера. Поэтому для своевременного парирования биологических угроз необходимо, прежде всего, дальнейшее совершенствование нормативной базы.

¹ Заместитель министра здравоохранения Российской Федерации, доктор медицинский наук

В соответствии с Основами государственной политики в области обеспечения химической и экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу, которые были утверждены Президентом Российской Федерации в 2013 году, Министерством здравоохранения разработан проект Закона «О биологической безопасности», который содержит комплекс мер по нейтрализации угроз биологического характера. В настоящее время этот проект внесен в Правительство Российской Федерации и в ближайшее время должен быть внесен в Государственную Думу.

Второе. Усиление мониторинга эпидемической обстановки не только на территории Российской Федерации, но и за рубежом, в том числе позволяющего отслеживать нетипичное превышение пороговых фоновых значений групповой заболеваемости.

Третье. Разработка отечественных приборов для оперативного мониторинга, быстрой индикации и идентификации патогенных биологических, в том числе синтетических, а также соответствующей реагентной базы для их работы. При этом приборная база должна быть тесно интегрирована с современными методами эпидемиологического анализа и прогнозирования.

Четвертое. Создание универсальной платформы для получения заданных вакцин против как существующих, так и новых патогенных биологических агентов, которые потенциально могут быть применены в том числе и в качестве поражающих биологических агентов.

Пятое. Совершенствование методов экстренной профилактики, позволяющих проводить массовую иммунизацию за короткие сроки.

Шестое. Создание новых эффективных антимикробных и противовирусных препаратов, в том числе преодолевающих антимикробную резистентность, включая терапевтические средства на основе специфических моноклональных антител.

Седьмое. Мониторинг научно-исследовательских и опытных конструкторских работ, проводимых совместно или с участием иностранных государств и международных организаций в области биологии, генетики, медицины, биотехнологии и иных смежных наук.

Восьмое. Очень важный вопрос – разработка Кодекса ученых-биологов при проведении ими научных работ в области биологических наук, результаты которых могут иметь двойное назначение.

Таким образом, для комплексного эффективного решения задач по противостоянию угрозам биологического характера необходимо объединение всего научного сообщества и государственных структур, а также тесное межведомственное взаимодействие и консолидация усилий всех сторон.

В.Н. Даниленко¹

Разработка технологической платформы для создания инновационных противотуберкулезных препаратов, активных в отношении штаммов с множественной лекарственной устойчивостью

Проблема заболевания туберкулезом на сегодняшний день имеет экстраординарное значение по сравнению со всеми другими инфекционными заболеваниями, которые мы знаем.

Доклад посвящен Концепции проекта, который его участники разрабатывали в течение последних примерно двух лет, и тех путей решения проблем, которые стоят в этой области.

Во-первых, нужно отметить особую опасность того, что видят ученые во всем мире в сфере множества лекарственно устойчивого возбудителя туберкулеза микобактериум туберкулезис. Это появление во всем мире и в России новых мутантных агрессивно распространяющихся множеств лекарственных сублиний микобактериум туберкулезис, воздействующих на население с пониженным иммунным статусом. Это не только ВИЧ, это диабет второго типа, гепатит и многое другое.

Некоторые факты: помимо того, что два миллиона людей умирают, 10 миллионов заболевают туберкулезом во всем мире, примерно третья часть всего населения мира является носителем микобактериум туберкулезис в латентном состоянии. В России это около 60%. Микобактериум туберкулезис находится там не в полностью спящем состоянии, часть его генов работает, производит определенные продукты, коммуницирует с нашей центральной нервной системой, и как они на нас воздействуют, до конца никто не понимает.

Действительно, микобактериум туберкулезис представлен семью основными линиями-генотипами и более, может быть, на сегодняшний день тридцатью сублиниями, которые вместе с распространением человека по планете распространялись также вместе с ним и распространяются сейчас независимо от него. Особенно важно отметить, что в последние 50 лет под воздействием антибиотиков начали появляться новые штаммы, устойчивые ко всем антибиотикам. Это значит, что лечить нельзя. Человек все равно умрет.

В последние десятилетия глобальные изменения происходят в иммунном статусе населения различных регионов и стран мира на основе различных хронических заболеваний. Это вторая селективная среда, второй селективный фактор, который приводит к отбору, по-видимому, этих новых агрессивных штаммов, мутантов штаммов, воздействующих на человека с пониженным иммунным статусом.

Например, в случае Южно-Африканской Республики, где очень распространен СПИД-ВИЧ, обнаружен мутантный штамм, который с очень высокой агрессивностью в течение 2-4 недель убивает человека, инфицированного ВИЧ.

¹ Заведующий отделом Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, доктор биологических наук

Когда он переходит к человеку с нормальным иммунным статусом, то уходит в персистирующее состояние и ждет или стрессовых условий, или других условий, приводящих к снижению иммунитета, и так же быстро может его убить.

Совместно с коллегами из ЮАР и Китая на базе Института пульмонологии (на сегодняшний день филиал Института эпидемиологии и инфекционных заболеваний Минздрава) проведен большой комплекс исследований, позволивший обнаружить среди людей с пониженным иммунным статусом достоверное распространение новой мутантной линии, которая обладает способностью синтезировать иммуномоделирующий фенольный полипептид, достаточно хорошо охарактеризованный, который, по-видимому, приводит к осложнениям и проблемам с лечением этих людей.

Какие же пути решения проблемы? Конечно, это адекватные опережающие ответы на правильно оцененные вызовы. Правильно оценить вызовы, которые существуют, могут только ученые, которые занимаются и работают в области фундаментальных исследований в этом направлении.

Проблема и работа врачей-клиницистов – лечить, врачей-эпидемиологов – исследовать распространение и предусматривать, как это будет происходить, а ученых (в данном случае Академии наук, Министерства науки и высшего образования) – оценить такие угрозы и совместно с различными специалистами предложить стратегии, обеспечивающие решение данных проблем. Для этого необходимо создание препаратов, антибиотиков нового механизма действия, формирование новой концепции разработки противотуберкулезных препаратов (в первую очередь генно-инженерных вакцин и адьювантов к ним, – здесь есть проблема во всем мире) и разработка молекулярно-генетических диагностик нового поколения, в том числе с повышенной вирулентностью и патогенностью лекарственно устойчивого штамма.

Для этой цели необходимо было создание консорциума с участием функционально дополняющих друг друга организаций и профильных структур/подразделений; разработка национального проекта в области создания инновационных противотуберкулезных препаратов и диагностиков.

В состав консорциума, который был создан в апреле прошлого года, вошли около 15 организаций различных ведомств. Хочу отметить, что каждое из этих направлений возглавляют институты и лидеры, имеющие большой практический опыт по данному направлению.

Сегодня будет доклад академика Акимкина об эпидемиологии туберкулеза с множественной лекарственной устойчивостью. В разработке антибиотиков лидером является академик Чарушин, в разработке вакцин и адьювантов – академик Гинцбург, академик Зверев и проф. Красильников из Санкт-Петербурга.

Естественно, в этом проекте принимают участие и клиницисты, так как предполагается проведение доклинических исследований. И последнее – последующая передача доклинических исследований различных препаратов.

Прежде чем определиться, что нам делать в области диагностики устойчивости к антибиотикам, мы сканировали и посмотрели все возможности, которые есть в России, проконсультировавшись с нашими иностранными партнерами, с которыми уже долгое время работаем в рамках совместного международного проекта по туберкулезу (рис. 1).

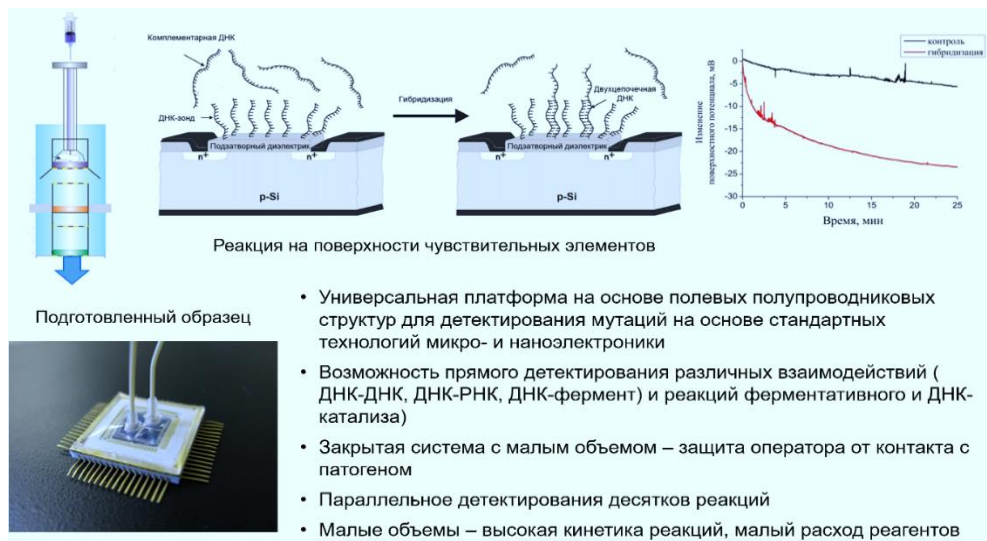


Рис. 1. Определение устойчивости к антибиотикам на основе картриджа с интегрированной пробоподготовкой и микроэлектронного чипа

Мы выбрали наших коллег из одного из институтов в Зеленограде, которые способны создать универсальную платформу на базе полупроводниковых структур для детектирования мутаций на основе стандартных технологий макро- и нанозлектроники. Оценили возможность того, что это детектирование может происходить с использованием различных механизмов фермент-гибридизации. После этого проработали возможность ее реализации, приступили к ней в определенном плане. И, конечно, первое, что необходимо делать, – сравнить с тем, что существует у нас в клинике, с теми разработками, которые создаются в США, ЮАР, Китае.

Наша предлагаемая разработка по всем показателям превосходит то, что есть и может быть конкурентоспособной с тем, что будет в ближайшие годы.

Один из принципов подходов формирования нашего проекта – инновационность, обусловленная нестандартностью ситуации, связанная с множественной лекарственной устойчивостью туберкулеза, и тем, что организации и люди, которые долгое время занимаются разработкой какой-то проблемы, склонны к тому, чтобы развивать, усовершенствовать свою задачу, но достаточно сложно идут на путь инноваций.

Концепция дизайна новых противотуберкулезных лекарств разрабатывалась и обсуждалась нами уже долгое время. Я уже упомянул, что

несколько лет назад был создан международный консорциум «ТБ-резист» при активном участии академика А.И. Григорьева, тогда вице-президента РАН. Туда входят США, Евросоюз, Китай, Тайвань, Индия, ЮАР, – казалось бы, такие несовместимые страны, но мы функционируем и работаем до сих пор на уровне экспертизы, обмена мнениями в той степени, которая необходима для нашего проекта.

На рис. 2 можно видеть те подходы, которые мы реализуем. Конечно, это классы низкомолекулярных соединений, ранее не описанные, а как противотуберкулезные вещества; получение полусинтетических соединений с новым механизмом действия из природных антибиотиков. Естественно, это отбор соединений, способных поражать две-три биомишени микробактериям туберкулезис, в том числе белки вирулентности. А также мы поставили такую амбициозную задачу, чтобы они воздействовали и на вирус ВИЧ, и на микробактерии туберкулезис. Такие подходы у нас есть.

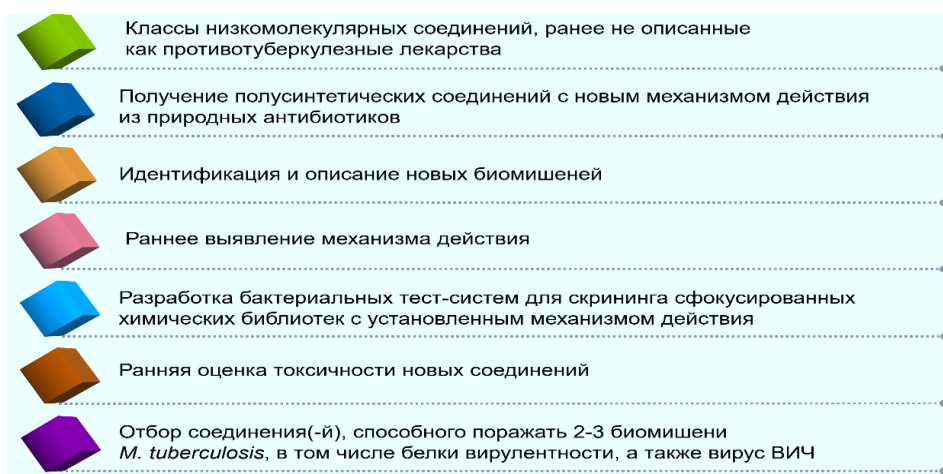


Рис. 2. Концепция дизайна новых противотуберкулезных лекарств

На рис. 3 можно видеть ту ситуацию, которая происходит в мире по созданию антибиотиков. Исследуются многие десятки классов соединений, но сегодня на рынке после 40 лет работы только один антибиотик – бедаквилин, который в чем-то позитивно себя проявляет (и уже появились устойчивые варианты), но он имеет побочный эффект на кардиологическое состояние человека.

Внизу рис. 3 можно видеть препараты, разрабатываемые в России в рамках указанного проекта. Как видно, это десятки классов химических соединений, в создании которых участвуют перечисленные выше институты. Часть из них была реализована в рамках доклинических исследований. Здесь нужно отдельно сказать, что «Фарма-2020» очень помогла сформировать и команды людей, взаимодействующих в этой сфере, и многому научиться. Здесь большая заслуга тогда начальника департамента, а сейчас первого заместителя министра промышленности Цыба С.А.

Приведу просто несколько примеров, что мы имеем по каким классам соединений, и что мы собираемся реализовывать в рамках нашего проекта, естественно, с участием и возможностями и программы «Фарма-2030», которая сейчас формируется.

1. Разработка Института химического синтеза УрО РАН. Это фторхинолоны – перспективный класс соединений, который, как мы надеемся, и в нашем случае даст хорошие препараты.

2. Бензотиозин того же Института, который показывает очень хорошие результаты. Все эти препараты отбираются, в первую очередь, как действующие на лекарственно устойчивые штаммы. Мы пытаемся быстро установить новый механизм действия, быстро проверять на животных – и их токсичность, и их эффективность.

3. Из того же института – конъюгат пурина с аминокислотами, ингибитор глутаминовой микробактерии. Сейчас завершаются доклинические испытания этого препарата. Есть и негативные результаты, мы их понимаем и будем ликвидировать.



Рис. 3. Разработка новых анти-ТБ препаратов

В области разработки вакцин мы выбрали стратегию повышения универсальности и иммуногенности разрабатываемых вакцин. У нас в стране уже разработаны и проходят стадии клинических исследований две вакцины – мукозальная вакцина и рекомбинантная. Но есть проблемы как в России, так и за рубежом в создании вакцин. Поэтому необходимо создание новых адъювантов для вакцин. Необходимо было создание и новых платформ для генно-инженерных вакцин. Все это мы предусматриваем, делаем и исследуем.

Почему Россия может и должна достигнуть успехов в реализации проекта? Потому что у нас есть хорошая школа и компетентность эпидемиологов, медицинских химиков, иммунологов и генетиков, длительный совместный опыт работы в рамках программы «Фарма-2020», в том числе и с зарубежными учеными, надежда на преодоление межведомственного барьера в рамках межведомственного Совета по безопасности, объединение усилий фондов РФФИ и РГНФ в разработке программы «Фарма-2030» и участие в качестве индустриального партнера «Нацимбио» и других бизнес-структур, с которыми мы работаем.

Многие институты-участники уже имеют свои производственные базы для опытно-производственной организации вакцин, антибиотиков и диагностики.

В.Г. Акимкин¹

Эпидемиологическая значимость резистентности возбудителя туберкулеза к антибиотикам и перспективы диагностики

Рассмотрение эпидемиологической ситуации по туберкулезу сегодня должно происходить, на наш взгляд, в рамках рассмотрения глобальной проблемы антибиотикорезистентности. Согласно данным новой глобальной системы по надзору за устойчивостью к противомикробным препаратам, более полумиллиона человек с подозрением на бактериальную инфекцию в 22 странах столкнулись с устойчивостью к антибиотикам.

Антибиотикорезистентный возбудитель туберкулеза ВОЗ рассматривает сегодня как один из наиболее опасных и эпидемиологически значимых возбудителей, который приводит к значительной летальности заболевших туберкулезом.

Сегодня туберкулез рассматривается в качестве 10-ти основных причин смертности в мире, занимает 9-ю позицию. Заболевают ежегодно, по оценкам экспертов ВОЗ, более 10 миллионов человек, умирает каждый седьмой. Более одного миллиона человек в сочетании туберкулез и ВИЧ, умирает каждый третий. И более полумиллиона человек заболевает антибиотикорезистентным туберкулезом, погибает каждый второй пациент.

Эффективность лечения с множественной лекарственной устойчивостью туберкулеза, как вы видите на рис. 1, не столь велика. С множественной лекарственной устойчивостью вылечивается каждый второй, а с широкой лекарственной устойчивостью – лишь каждый четвертый пациент.



Рис. 1. Эффективность лечения больных ЛЧ/МЛУ/ШЛУ туберкулезом в мире, 2016 г.

Глобальные цели, которые ставит перед нами ВОЗ, достаточно амбициозны – к 2035 году ликвидировать до 95% заболеваемости и смертности по отношению к исходу 2015 года. Конечно, это и перед Российской Федерацией ставит серьезные задачи.

¹ Директор ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, академик РАН

С чего мы стартуем? К сожалению, Российская Федерация сегодня находится в списке 30-ти стран с высоким бременем туберкулеза и сегодня у нас высокий уровень туберкулеза и высокий уровень первично резистентных его форм.

По оценкам экспертов, на профилактику и лечение туберкулеза и вообще в целом на борьбу с туберкулезом ежегодно тратится более 12 миллиардов долларов. При этом национальный валовой продукт развитых стран теряет ежегодно от 4 до 7 процентов.

Благодаря усилиям Минздрава и противотуберкулезной службы России, мы имеем существенное снижение уровня заболеваемости за последние 10 лет (рис. 2). Она снизилась практически в два раза, а уровень смертности – в три раза. Но тем не менее успокаиваться нельзя.

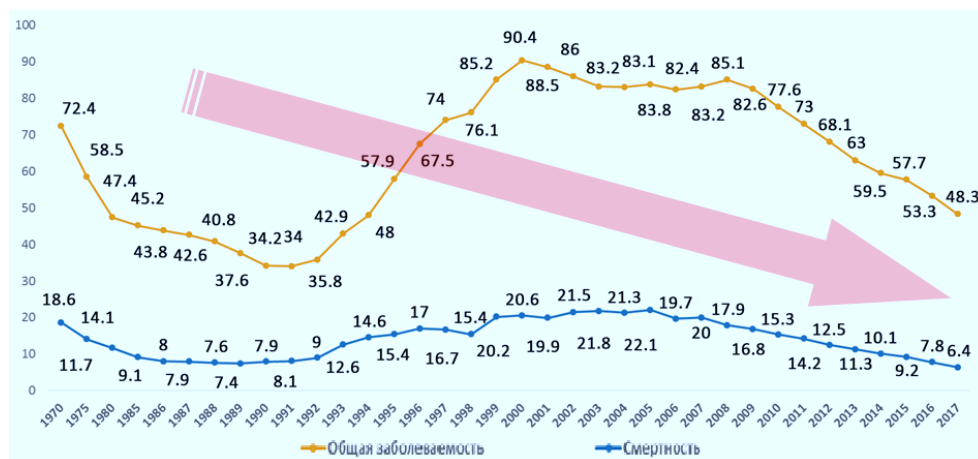


Рис. 2. Заболеваемость и смертность от туберкулеза в России, 1970-2017 гг. (на 100000 населения)

При этом, фактически в 4 раза возрос уровень антибиотикорезистентности впервые выявляемых форм (рис. 3). И в сочетании с ВИЧ-инфекцией (это второй график), видно, что полностью корреляционно зависимые связи между этими графиками, свидетельствующие об усилении взаимодействия двух этих инфекций, приводят к летальному исходу таких пациентов.

По прогнозу, к 2020 году до двух третей бактериовыделителей будут иметь множественную лекарственную устойчивость, а каждый третий случай туберкулеза будет связан со множественной лекарственной устойчивостью.

Сегодня мы прекрасно понимаем, и это свидетельствовало из предыдущего доклада проф. Даниленко, что одна из форм эффективной борьбы с туберкулезом – это ранняя эффективная диагностика. Сегодня в России зарегистрировано 7 различных систем для ПЦР-диагностики (рис. 4).

Наши разработки, даже первичные, предполагают создание новых систем диагностики туберкулеза на основе микроэлектронных чипов, которые позволяют дать более высокую частоту и автоматизацию проведения анализа,

его эффективность, меньшую стоимость проведения данного исследования и защитить от ошибок персонал лаборатории.

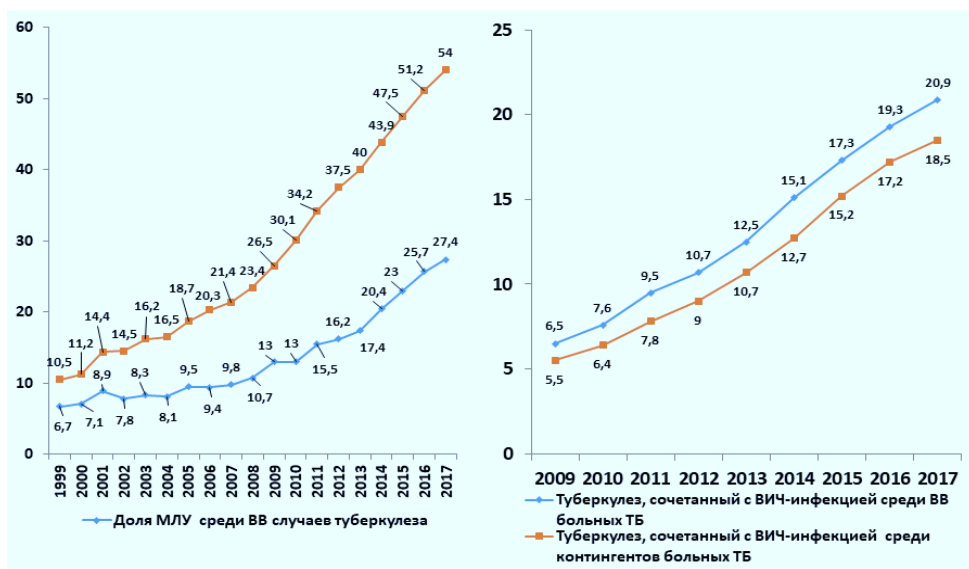


Рис. 3. Рост уровня антибиотикорезистентности

отечественные	 <p>мультиконкурентная аллель-специфичная ПЦР в реальном времени</p> <ul style="list-style-type: none"> • АМПЛИТУБ-МЛУ-РВ • АМПЛИТУБ-FQ-РВ
	 <p>ПЦР с последующей ДНК-гибридизацией на гидрогелевых биочипах</p> <ul style="list-style-type: none"> • ТБ-Биочип • ТБ-Биочип-2
зарубежные	 <p>ПЦР в реальном времени, совмещенная с выделением ДНК в картридже</p> <ul style="list-style-type: none"> • Хpert® МТВ/RIF
	 <p>ПЦР с последующей ДНК-гибридизация на стрипах</p> <ul style="list-style-type: none"> • GenoType MTBDRplus • GenoType MTBDRsl

Рис. 4. Наборы реагентов для выявления мутаций (дикого типа) M. Tuberculosis complex, ассоциированных с резистентностью к ПТП в России

В настоящее время Роспотребнадзор организует систему мониторинга антибиотикорезистентности, связанную с двумя основными аспектами. Это применение резистентности, связанной с применением антибиотиков в системе Министерства здравоохранения Российской Федерации и практики медицинских организаций, а также резистентности, связанной с применением антибиотиков в пищевой индустрии. Это не менее важная, а может быть даже более важная проблематика. На базе нашего института создан центр по изучению остаточного количества антибиотиков в продовольственном сырье и пищевых продуктах и антибиотикорезистентности бактерий, которая там выделяется.

Сегодня Роспотребнадзор совместно с Минздравом России реализует пилотный проект по обеспечению эпидемиологической безопасности и медицинской помощи. Данный проект реализуется совместно с координационной группой на базе нашего института. Производственные мощности и научный потенциал института в состоянии выполнить те задачи, которые будут поставлены в плане оптимизации диагностики.

А.А. Кокошин¹

Искусственный интеллект и некоторые вопросы обеспечения безопасности

При оценке перспектив развития исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) необходимо учитывать, как долгосрочные, так и среднесрочные тенденции в этой сфере. Сегодня мы переживаем третью волну в развитии ИИ, которая характеризуется весьма высокой степенью оптимизма относительно возможностей информационно-коммуникационных технологий и систем. Во многом это связано с развитием широкого спектра таких технологий и соответствующих разделов математики.

Работы в области искусственного интеллекта ведутся в ряде стран по крайней мере со второй половины 1950-х годов. За это время они прошли через ряд подъемов и спадов, в том числе применительно к проблемам безопасности. Нельзя не упомянуть, что многие специалисты обоснованно обращают внимание на целый ряд значительных рисков и проблем, которые возникают при бурном развитии этого направления. А значит, изучению рисков при создании систем ИИ, особенно автономных, должны быть посвящены специальные исследования и разработки.

По определению академика РАН И.А. Соколова, искусственный интеллект – междисциплинарная наука на стыке математики, информатики, лингвистики и когнитивных наук. Методы искусственного интеллекта применяются в тех областях, где приходится действовать, не имея точных инструментов решения проблемы, к тем задачам, для которых отсутствует или неприемлем по временным ограничениям заранее заданный алгоритм решения.

Академик РАН К.В. Рудаков говорил о том, что для использования методов и математических подходов искусственного интеллекта наличие адекватной математической модели предметной области не является необходимым, чем во многом, по его мнению, и определяется ширина спектра приложений технологий и систем ИИ.

Традиционно к числу задач, решаемых системами и технологиями искусственного интеллекта, относятся: обработка текстов, распознавание изображений и видео, обработка аудиозаписей (в том числе речи), обработка электронных сигналов и иных массивов информации с дальнейшим выделением и представлением знаний, поддержка принятия решений.

Развитие систем искусственного интеллекта для указанных направлений в растущей мере связано с рядом общественных и гуманитарных наук, в том числе с социологией, психологией, политологией, правоведением, теорией управления. Этот факт нередко недоучитывается, особенно при постановке задач, в частности в области систем поддержки принятия решения.

Системы ИИ способны обучаться на прецедентах в непредвиденных ситуациях. С этой точки зрения исключительно важно формирование как можно более детального и исчерпывающего набора описаний прецедентов. Во

¹ Декан факультета мировой политики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, академик РАН

многих случаях это весьма сложная ресурсоемкая задача, требующая тесного взаимодействия ученых и специалистов разного профиля. Для эффективной работы систем искусственного интеллекта в сфере безопасности необходима первичная обработка огромных объемов информации, структурированных в разных вариантах, что требует тесного взаимодействия как разработчиков и операторов систем ИИ, так и специалистов-аналитиков.

В соответствии с НИР «Разработка прогноза реализации приоритета научно-технического развития, определенного пунктом 20д Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации "Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства"» выделены прикладные области использования искусственного интеллекта в сфере безопасности.

Повышение эффективности правоохранительной деятельности, в том числе применительно к борьбе с экстремизмом и терроризмом. Существенное значение в рамках противодействия терроризму и идеологическому экстремизму приобрели работы над совершенствованием технологий и обработки больших массивов данных, обеспечивающих оперативность и комплексность рассмотрения соответствующих проблем. Весьма важен анализ и прогнозирование развития социокультурной среды в целях обеспечения поиска связей между различными субъектами, явлениями и событиями с применением ИИ. Соответствующие системы искусственного интеллекта могли бы выявлять субъектов, потенциально опасных для общества в том числе по внешним поведенческим признакам.

Надежное предупреждение и оптимальная реакция на техногенные и природные чрезвычайные ситуации (ЧС):

- выявление угроз возникновения ЧС на основе обработки неформализованной информации из социальных медиа, сообщений добровольцев и т.п.;

- обнаружение признаков ЧС с использованием видовой информации (аэрофотосъемка, камеры наружного наблюдения, автомобильные видеорегистраторы, иные средства фото- и видеофиксации);

- определение границ районов ЧС с использованием видовой информации;

- поиск людей и объектов в районах ЧС, в том числе под завалами, в горно-лесистой местности, в других сложных условиях;

- в области природных воздействий значительная часть проблем, требующих изучения, связана с механизмами подобных воздействий, прогнозированием и моделированием угроз, например, гидрологического (наводнения, затопления территорий и др.), геолого-геоморфологического (землетрясения, вулканы, сели, оползни, лавины и др.), метеорологического характера, а также природных пожаров.

Все большую актуальность приобретают методы и средства жесткой, функциональной и комбинированной защиты сложных технических систем.

Решение обширного комплекса задач информационной безопасности и кибербезопасности. В США, например, пытаются создать программное обеспечение, которое позволяет определять ботов, занимающихся дезинформацией в сети, выявлять те или иные информационные кампании в социальных сетях, оценивать их эффективность.

Огромное значение имеют системы искусственного интеллекта для кибервойн, в том числе для распознавания на ранней стадии возможных кибератак как по военным, так и по гражданским целям, для обнаружения аномалий в киберпространстве. Применительно к ведению информационного противоборства системы ИИ помогают подбирать важную информационную стратегию и тактику работы в социальных сетях.

В соответствии с Доктриной информационной безопасности РФ 2016 г. понятие «информационная безопасность» является максимально полным, охватывающим информационно-психологический аспект, кибербезопасность, защиту информации и др. (п. 23 Доктрины).

Тем не менее специалисты проводят различие между кибервойнами и информационными войнами. По словам президента Российской академии ракетных и артиллерийских наук В.М. Буренка, кибервойна – «это целенаправленное деструктивное воздействие информационных потоков в виде программных кодов на материальные объекты и их системы, их разрушение, нарушение функционирования или перехват управления ими».

Информационные же войны – «это контентные войны, имеющие своей целью изменение массового, группового и индивидуального сознания». В процессе таких войн идет борьба за умы, ценности, поведенческие характеристики людей. Справедливо утверждается, что информационные войны велись задолго до появления киберпространства.

Повышение безопасности вооруженных сил по широкому спектру их функций и задач. Многочисленные исследования, оценки авторитетных ученых и специалистов говорят о том, что в области искусственного интеллекта наступает новый этап, который может знаменовать значительными прорывными результатами в военной сфере.

Выдвигаются гипотезы о том, что широкое внедрение систем ИИ приведет к революционным изменениям, сопоставимым с появлением боевой авиации или даже атомного оружия. Но эта гипотеза нуждается в тщательной научно-исследовательской проработке. Значительный интерес представляет применение ИИ в различных звеньях всего контура принятия решения – от получения и обработки информации до выработки решения на основе анализа разных вариантов, реализации решения, включая контроль за его исполнением. В целом системы и средства искусственного интеллекта призваны обеспечить упреждающее выполнение всего цикла управления на высоком уровне.

Перечень задач, которые могут быть решены применительно к сфере безопасности и обороны с использованием технологий и систем ИИ, далеко не исчерпывается указанными выше направлениями. Но именно эти направления должны войти в перечень, который необходимо активно формировать уже сегодня с учетом достижений в области искусственного интеллекта.

В.Ю. Опанасенко¹

О разработке специализированных графических ускорителей

Остановлюсь, прежде всего, на задачах, связанных с большими массивами данных, которые в той или иной степени необходимо решить для получения правильного ответа, будь то принятие решений в искусственном интеллекте, будь то в области медицины и т.д.

И если методы математического моделирования за последние 5-7 лет достаточно продвинулись вперед, разработано большое количество алгоритмов программного обеспечения, есть новые принципы в решении ряда задач, то нигде и никогда не звучит вопрос о том, на чем все это работает, то есть для решения всех этих вопросов все равно необходимо какое-то, как говорят в народе, «железо», которое это дело будет решать.

На текущий момент принято считать, что так называемые графические карты или графические ускорители – это то, что является панацеей для многих вещей и решает эти вопросы, потому что в большинстве своем многие задачи в той или иной степени решаются методом перебора. Графические карты идеально подошли для решения этих задач, потому что они содержат колоссальное количество легких ядер с хорошим параллелизмом, что необходимо для решения данных задач. Это так исторически сложилось, потому что ничего другого на тот момент для решения этих задач не было. Но все-таки графические карты предназначены, прежде всего, для обработки графических процессов, и если брать соотношение цена – производительность, то это достаточно дорогой и энергоемкий инструмент.

Год назад собралась инициативная группа, состоящая из достаточно известных в этой области институтов – таких, как НИИЭФ, НИИ «Квант», ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Платформа «Байкал-Электроникс» и несколько других научных организаций, которые поставили своей целью сделать такую инициативную НИР, результатом которой должно было стать техническое задание действительно на тот ускоритель, который наиболее правильно, наиболее дешево и быстро решает вышеперечисленные задачи.

Такая работа была проведена. Она есть в открытом доступе. Несмотря на то, что результаты были промежуточно подведены в мае-июле этого года, она остается все еще открытой. Если у кого-то из коллег есть интерес поучаствовать в доформировании разработанного проекта этого ТЗ перед тем, как эта работа перейдет в разряд ОКР, то я был бы признателен за участие в этой работе.

¹ Генеральный директор, АО «Т-Платформы»

С.Д. Варфоломеев¹, С.М. Ломакин², П.А. Сахаров³, А.В. Хватов⁴
Эффективные химические методы управления горением. Новые угрозы и новые решения

Исследования в области горения, взрывов, детонации и создание на этой основе эффективных методов управления процессами представляется в высшей степени актуальной областью современной науки и технологии.

Несмотря на то, что эта сфера исследований и технических разработок имеет глубокие корни и значительные достижения, проблема управления процессами горения далека от полноразмерного решения. С одной стороны, мы наблюдаем увеличивающееся во всех странах мира количество неконтролируемых возгораний, взрывов, пожаров, нередко переходящих в технические и бытовые катастрофы с гигантскими материальными потерями и человеческими жертвами.

В мире наблюдается непрерывный рост использования высокогорючих полимерных материалов, представляющих собой химическую модификацию нефти и природного газа. С другой стороны, происходит катастрофический рост органических отходов, уровень которых увеличивается пропорционально росту народонаселения планеты, причем этот рост имеет экспоненциальный характер.

Основная масса отходов представляет собой твердофазную модификацию углеводородов и в силу своей химической природы не может быть утилизирована биогенно и требует высокотермической утилизации. Научной базой управления горением, взрывом и детонацией является теория разветвленных цепных реакций, созданная Нобелевским лауреатом академиком Н.Н. Семеновым [1]. Большую роль в развитии теории разветвленных цепных реакций сыграл наш современник член-корреспондент РАН В.В. Азатян [2, 3].

Теоретические основы управления горением, взрывом и детонацией достаточно просты. Для увеличения скорости процесса необходимо увеличивать концентрацию высокорекционноспособных радикалов, особенно тех, которые участвуют в стадии разветвления (стадия генерации двух реакционных частиц из одной). Для уменьшения скорости реакции необходимо изыскать химические или физические возможности трансформации высокорекционноспособных радикалов в частицы с пониженной реакционной способностью или, вообще, в стабильные молекулы.

С практической точки зрения задача создания средств борьбы с горением, воспламенением и распространением пламени сводится к поиску химических агентов (антипиренов), трансформирующих активные частицы в малоактивные, химически «поглощающих» свободные радикалы. Другим механизмом,

¹ Научный руководитель Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, член-корреспондент РАН

² Заведующий лабораторией, Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, к.х.н.

³ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

⁴ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, к.х.н.

открытым Н.Н. Семеновым в рамках создания теории разветвленных цепных реакций, является механизм «гибели на стенке», определяемый взаимодействием радикалов с массивной твердой фазой реактора.

Значительные успехи в поиске веществ – антипиренов привели к тому, что в настоящее время создано и исследовано большое количество веществ, обладающих в той или иной степени характеристиками антипиренов [4-8].

В качестве антипиренов используют вещества различной химической природы: неорганические компоненты (окись алюминия, гидроокись магния), соли (фосфаты аммония), органические компоненты с активированными связями (ароматические галоид-производные) [4-6]. Критериями отбора являются эффективность перехвата высокореакционноспособного радикала при минимальных концентрациях антипирена, а также экологическая безопасность применения и стоимость реагента.

Нанокompозитные материалы

В Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН в течение многих лет ведутся исследования по стабилизации полимеров и, в частности, по созданию термостойких полимерных композиционных материалов, устойчивых к воспламенению, горению, распространению пламени [9-16].

Исследования в области термических свойств и горючести полимерных нанокompозиционных материалов показали возможность их практического применения в качестве экологически-безопасных материалов пониженной горючести.

Создание полимерных мультифункциональных нанокompозитов является одним из самых перспективных направлений в науке о композиционных материалах последних лет. Это материалы, в которых хотя бы один из размеров частиц дисперсной фазы (длина, ширина или высота) составляет менее 100 нм. Наночастицы могут иметь изодиаметриаметрическую (порошки металлов, окислы, соли), волокнистую (нанотрубки) и пластинчатую (слоистые силикаты) форму.

За последние 20 лет научные достижения в области нанохимии и технологии полимерных нанокompозитов привели к возникновению целого класса новых полимерных материалов с нанодисперсным распределением наполнителей таких как: слоистые алюмосиликаты, слоистые двойные гидроксиды, нанодисперсные окислы и соли металлов, наноструктурные формы углерода (углеродные нанотрубки, фуллерены, слоистый графит) [17, 18].

В зависимости от природы и структурных характеристик нанонаполнителей, их введение в полимерную матрицу приводит к снижению горючести, приданию свойств тепло- и электропроводности, снижению газопроницаемости и улучшению барьерных характеристик, устойчивости к воздействию УФ излучения, приобретению магнитных и антикоррозионных свойств, повышению теплостойкости, повышению жесткости и прочности материалов [19-22].

Общепринято, что уникальное свойство нанонаполнителей, позволяющее влиять на процесс горения полимерных материалов обусловлено их способностью формировать на горячей поверхности полимерной матрицы защитный карбонизованный слой, затрудняющий процесс массопереноса в условиях горения. В настоящее время предлагается два варианта механизмов понижения горючести полимерных нанокомпозитов с учетом влияния слоистых силикатов и углеродных нанотрубок. Один из них акцентируется на физическом аспекте формирования карбонизованного слоя на поверхности горящего полимера, влияющего на массо- и теплоперенос между зоной горения и полимерным материалом. Другой вариант учитывает каталитическую активность нанонаполнителей в процессе термической деструкции полимеров, вызывающую низкотемпературную карбонизацию полимерной матрицы. Очевидно, что, несмотря на общий характер коксообразования полимерных нанокомпозитов, механизм этого процесса, в присутствии нанодисперсных слоистых систем и углеродных нанонаполнителей, различен.

В 2017 году было исследовано влияние наноуглеродных наполнителей, в частности, нанопластин графита/многослойного графена (НПГ) на и горючесть полиолефинов – полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП). По результатам пиролитической хромато-масс спектрометрии продуктов деструкции нанокомпозитов установлено воздействие НПГ на механизм пиролиза нанокомпозитов ПЭ и ПП за счет снижения скорости реакции внутримолекулярной передачи цепи [15]. Причиной этого служит снижение сегментальной подвижности первичных полимерных макрорадикалов в присутствии нанопластин графита (физическая адсорбция на поверхности НПГ по данным ДСК). Установлено, что введение незначительных добавок НПГ (3-5%) в полиолефины позволяет существенно понижать максимальное значение скорости тепловыделения при горении полимерных нанокомпозитов как посредством твердофазных процессов в полимерной матрице (традиционный механизм образования «защитного слоя»), так и за счет снижения скорости диффузии тяжелых углеводородных продуктов пиролиза в газовой фазе [15].

Наряду с основной причиной, влияющей на понижение горючести нанокомпозитов за счет твердофазных реакций коксообразования и формирования эффективного защитного слоя (*shielding effect*) на поверхности горящего полимерного материала, нами был предложен альтернативный механизм, учитывающий изменение состава газообразных продуктов пиролиза в условиях пиролиза полимеров за счет снижения скорости диффузии тяжелых углеводородных продуктов пиролиза в газовой фазе.

Исторически наибольшее распространение среди нанонаполнителей, придающих полимерам трудногорючие свойства, получили слоистые силикаты [8]. Полимерные нанокомпозиты на основе слоистых силикатов представляют собой гибриды органической фазы (полимер) и неорганической фазы (силикат). Нанодисперсность нанокомпозита зависит от типа используемого силиката. Применяемые для этого силикаты принадлежат к

семейству слоистых алюмосиликатов, также известных как филоосиликаты (слюда, тальк, монтмориллонит, вермикулит, гекторит, сапонит и т.д.) [8]. Однако наибольшим практическим интересом пользуются комплексные смеси антипиренов, содержащих слоистые силикаты и традиционные антипирены, такие как, гидроксиды алюминия и магния, которые благодаря эффекту синергизма, проявляемого в условиях горения, существенно снижают горючесть полимеров [23]. В качестве примера можно привести неаддитивное влияние нанодисперсного слоистого силиката/монтмориллонита (ММТ) и гидроксида магния на горючесть композиций полипропилена, полученных расплавленным методом.

На рис. 1 и 2 представлены графики зависимости основных характеристик горючести: скорости тепловыделения (СТВ) и эффективной теплоты сгорания от времени для исходного ПП, а также композиций ПП/Mg(OH)₂ и ПП-ММТ/Mg(OH)₂. Из рис. 1 видно, что максимальное значение скорости тепловыделения ПП равно 2060 кВт/м², Аналогичный показатель максимальной СТВ для нанокompозита ПП-мПП-Cloisite 20A (7 масс. %) составляет 936 кВт/м², что свидетельствует о снижении значения максимальной СТВ более чем в два раза (на 55%) по сравнению с исходным ПП. Введение 30% мас. гидроксида магния в полипропилен приводит к небольшому понижению значения максимальной СТВ на 32% (1390 кВт/м²), относительно исходного ПП, тогда как введение 60% Mg(OH)₂ понижает максимальную СТВ в 6,5 раз до 317 кВт/м² (на 84 %).

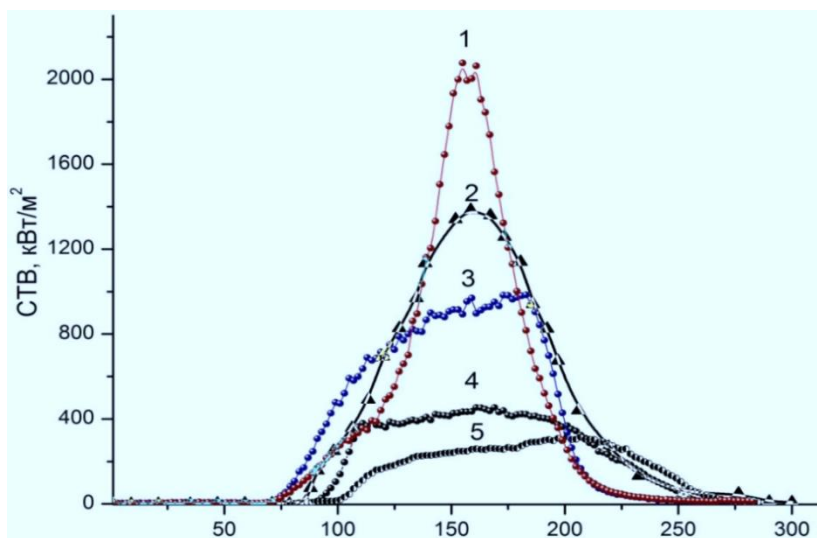


Рис. 1. Зависимость скорости тепловыделения от времени для образцов ПП (1), ПП/Mg(OH)₂ -30% масс. (2), ПП-ММТ-7% масс. (3), ПП-ММТ-7% масс./Mg(OH)₂ -30% масс. (4), ПП/Mg(OH)₂ - 60% масс. (5) в режиме испытаний на кон-калориметре при внешнем тепловом потоке 35 кВт/м²

Из полученных данных становится очевидным, что для эффективного снижения горючести композиций ПП, содержащих гидроксид магния, необходимо существенное введение неорганического антипирена, превышающего по массе саму полимерную матрицу. Анализ горючести нанокompозита ПП-ММТ-7% масс., содержащего 30% масс. $Mg(OH)_2$, выявил синергический характер снижения параметра максимальной СТВ: максимальное значение СТВ для композиции ПП-ММТ-7% масс./ $Mg(OH)_2$ (30% масс.) уменьшилось в 5 раз (на 81%) по сравнению с исходным ПП и составило 398 кВт/м^2 (рис. 2). Данный эффект синергизма снижения горючести возникает, очевидно, при совместном влиянии ММТ и $Mg(OH)_2$ на твердофазные и газофазные процессы, протекающие при горении композиции ПП. Наночастицы ММТ участвуют в образовании карбонизованного углерод/керамического защитного слоя, влияющего на процессы массо- и теплопередачи на поверхности горящего полимера, а $Mg(OH)_2$ оказывает воздействие на газофазные процессы в пламени за счет разбавления продуктов пиролиза полимеров водой. Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 2, показывает увеличение периода индукции воспламенения композиций ПП-ММТ – 7% масс./ $Mg(OH)_2$ – 30% масс. (4) и ПП / $Mg(OH)_2$ – 60% масс., по сравнению с остальными испытанными образцами. Значения периодов индукции воспламенения для ПП и композиций на его основе составляют: ПП – 73 с, ПП-ММТ (7 масс. %) – 72 с, ПП/ $Mg(OH)_2$ 30% масс. – 76 с, ПП-ММТ(7%) масс./ $Mg(OH)_2$ 30% масс. – 97 с и ПП/ $Mg(OH)_2$ 60% масс. – 103 с.

Рис. 2 иллюстрирует зависимость эффективной теплоты сгорания от времени, которая практически идентична для ПП и ПП-ММТ. Это является подтверждением того, что силиктная добавка не проявляет свойств антипирена, ингибирующего газофазные процессы в пламени, и не влияет на теплоту сгорания. Незначительное уменьшение эффективной теплоты сгорания образца ПП/ $Mg(OH)_2$ – 30% масс. свидетельствует о малой эффективности воздействия добавки $Mg(OH)_2$ в количестве 30% масс. на газофазные процессы в пламени. Однако, при введении 60% масс. $Mg(OH)_2$ в композицию с ПП наблюдается практически двукратное снижение эффективной теплоты сгорания по сравнению с ПП. Заметное снижение эффективной теплоты сгорания для композиции ПП-ММТ-7% масс./ $Mg(OH)_2$ – 30% масс., по сравнению с исходным ПП, нанокompозитом ПП-ММТ и ПП / $Mg(OH)_2$ – 30% масс., указывает на синергизм снижения горючести композиции ПП при совместном введении добавок ММТ и $Mg(OH)_2$.

На основании проведенных исследований горючести композиций ПП, содержащих $Mg(OH)_2$ и нанонаполнитель ММТ, можно сделать вывод о том, что совместное введение традиционного антипирена $Mg(OH)_2$ в относительно небольшой концентрации и слоистого нанонаполнителя ММТ делает возможным получить трудногорючий материал на основе ПП. При этих условиях появляется возможность сохранить полезные физико-механические свойства исходного полимера.

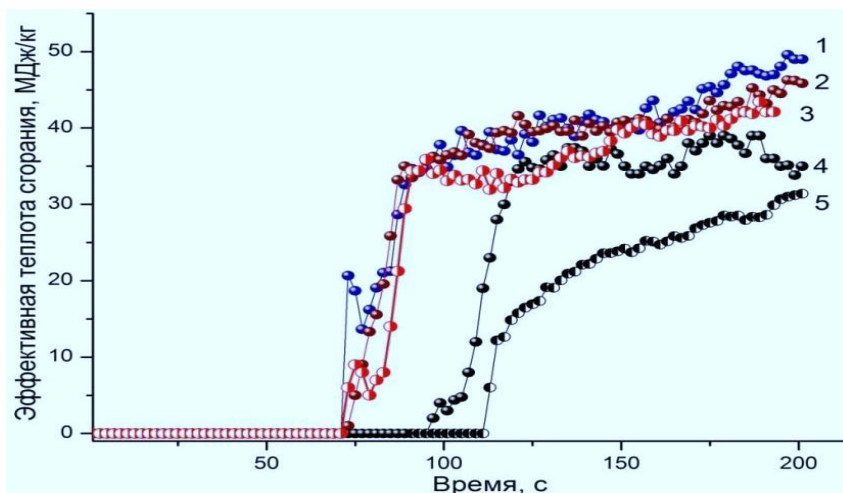


Рис. 2. Зависимость эффективной теплоты сгорания от времени для образцов ПП (1), ПП/Mg(OH)₂-30% мас. (2), ПП-ММТ-7% мас. (3), ПП-мПП-ММТ-7% мас./Mg(OH)₂-30% мас. (4) и ПП/Mg(OH)₂-60% мас. (5) в режиме испытаний на кон-калориметре при внешнем тепловом потоке 35 кВт/м²

Другим классическим примером нанонаполнителя, снижающего горючесть полимерных материалов, являются углеродные нанотрубы. Сравнительные испытания характеристик горючести нанокомпозитов ПП, содержащих 3 и 5% масс. многостенных углеродных нанотруб (МУНТ), были проведены на кон-калориметре при воздействии внешнего теплового потока 35 кВт/м² [13].

На рис. 3 представлены графики зависимости основной характеристики горючести: скорости тепловыделения (СТВ) и для ПП и нанокомпозитов ПП, содержащих 3 и 5% масс. МУНТ.

На рис. 3 видно резкое снижение значения максимальной скорости тепловыделения нанокомпозитов ПП/МУНТ по сравнению с исходным ПП. Так, для нанокомпозитов ПП с 3% и 5% масс. МУНТ значения максимальной скорости тепловыделения составляют 552.8 кВт/м², и 455.8 кВт/м² соответственно, тогда как для исходного ПП эта величина равна 2037 кВт/м². Расчетные значения эффективной теплоты сгорания ПП и нанокомпозитов ПП/МУНТ показали инвариантный характер изменения этого параметра для данных образцов. Поэтому, наблюдаемый эффект замедления горючести связан исключительно с твердофазными реакциями, приводящими к образованию защитного коксового слоя на поверхности горения, по аналогии со слоистыми силикатами [8-14].

Интуесцентные экологически-безопасные антипирены на основе возобновляемого сырья

Окисленные производные природного возобновляемого сырья, представляющие собой целлюлозосодержащие и крахмалосодержащие

(полисахара) реагенты, как показали исследования, могут найти применение в качестве эффективных антипиренов для конструкционных изделий из древесины, при изготовлении различных композиционных полимерных материалов, а также при тушении пожаров [24, 25].

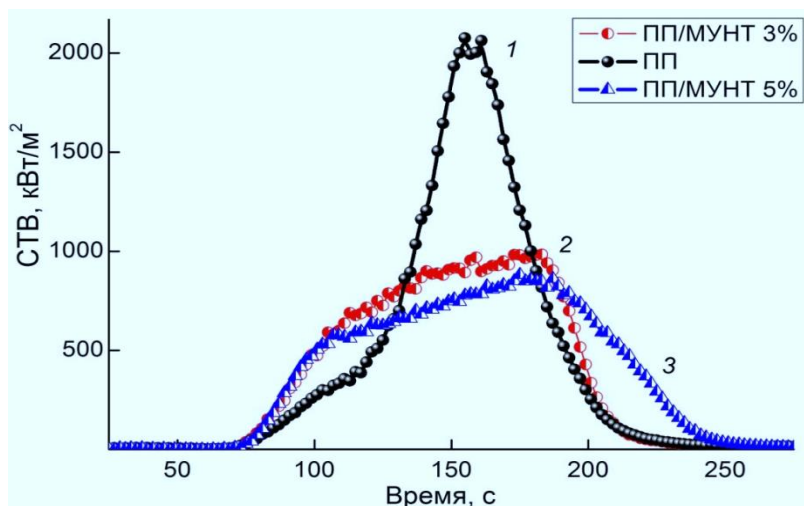


Рис. 3. Зависимость скорости тепловыделения от времени для образцов ПП (1) и нанокомпозитов ПП, содержащего 3 (2) и 5 масс. % (3) МУНТ в режиме испытаний на кон-калориметре при внешнем тепловом потоке 35 кВт/м²

Полученные результаты оказались совершенно неожиданными, поскольку ранее никто не предполагал, что подобные реагенты могут обладать свойствами антипиренов. На основании результатов проведенных исследований был установлен интумесцентный механизм огнезащитного действия антипиренов на основе окисленного возобновляемого сырья [24-27].

На рис. 4 показаны результаты синхронного ТГА-ИК-Фурье анализа интумесцентного антипирена. Из данных, представленных на рис. 4 видно, что процесс терморазложения антипирена происходит в три стадии: на первой стадии термодеструкции происходит выделение воды и углекислого газа за счет реакций дегидратации, декарбоксилирования за счет распада сложноэфирных связей, при этом образец вспучивается и уплотняется. На второй стадии происходит разложение основной углеродсодержащей структуры антипирена, сопровождающейся карбонизацией и образованием пенококса. На третьей стадии (догорание на воздухе) происходит декарбоксилирование коксового остатка (выделением CO_2). Очевидно, что декарбоксилирование, дегидратация и образование на поверхности горящего материала пенококса вносят определяющий вклад в снижение горючести древесных материалов и полимерных композитов.

На наш взгляд ключевым фактором снижения горючести древесных конструкций и композиционных материалов, обработанных данными антипиренами, является интумесцентный характер поведения антипиренов,

согласно которому термический нагрев приводит к образованию пенококса, который в свою очередь препятствует процессу горению за счет резкого снижения тепло- и массообмена между пламенем и поверхностью горящих материалов.

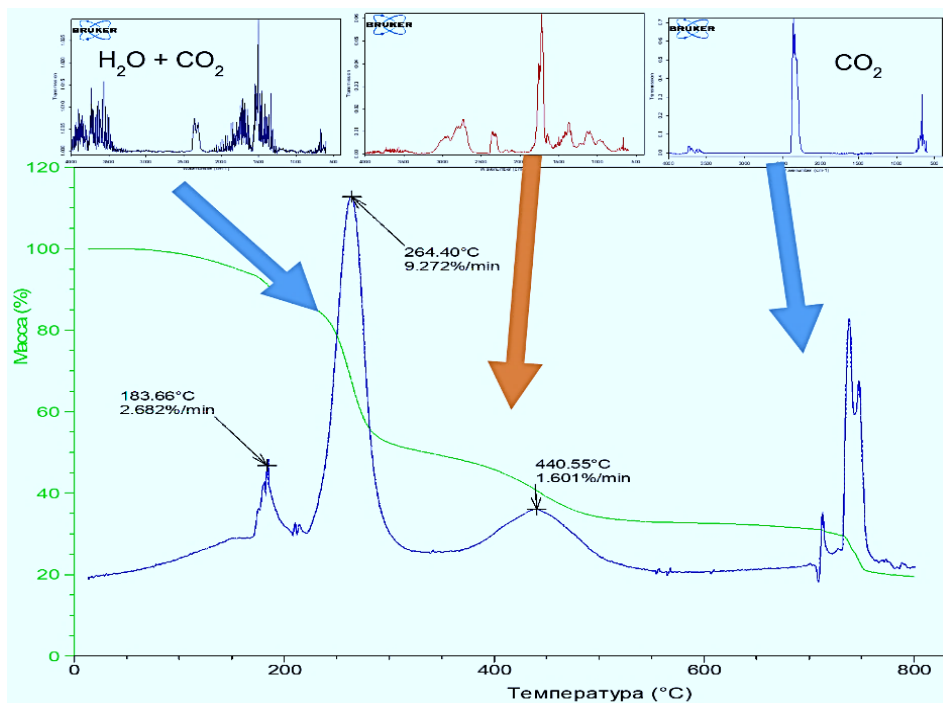


Рис. 4. Синхронный ТГА-ИК-Фурье анализ интумесцентного антипирена

В настоящее время сотрудниками ИБХФ РАН разработана уникальная технологии производственного процесса получения антипиреновой добавки из возобновляемого растительного сырья. Антипирены применены для строительных материалов из древесины и композиционных полимерных материалов. Новый класс антипиренов создан с целью придания огнестойкости материалов и расширения областей их применения в строительстве и производстве изделий общегражданского назначения. При этом показана возможность сохранения прочностных и антипиреновых характеристик на протяжении многолетней эксплуатации на открытом воздухе [26, 27]. Показано, что конструкционные изделия, обработанные синтезированным антипиреном, обладают 1-й группой огнезащитной эффективности, а также высокой огнестойкостью $R > 60$ (ГОСТ 30247.0) при расходе антипирена около $200 \div 300$ г/м². Создана опытно-промышленная установка синтеза антипирена, что позволяет использовать отходы производства деревообрабатывающих предприятий и производить подобные антипирены непосредственно на территориях древесно-стружечных комбинатов.

Проблема уничтожения или полезного использования малогорючих органических отходов к большому сожалению пока не нашла эффективного социального приемлемого решения. Прямое сжигание сопряжено с недостаточно эффективной трансформацией экологически опасных соединений, с генерацией газообразующих экотоксикантов. Эффективное решение проблемы найдено в Институте химической физики им. Н.Н. Семенова (лаборатория д.ф.-м.н. С.М. Фролова) [28]. Используя технологию детонационного горения авторам удалось провести процесс в температурном интервале 1800-2500 °С с генерацией воды, высокая реакционная способность которой, в данном температурном интервале, позволяет трансформировать органические отходы в синтез газ.

Таким образом, в настоящее время благодаря исследованиям, выполненным в Институте биохимической физики РАН, разработаны экологически безопасные антипирены, получаемые из возобновляемых источников сырья. Производство этих антипиренов освоено компанией «Татнефть».

Литература

1. Семенов Н.Н. Самовоспламенение и цепные реакции // Успехи химии. 1967. Т. 36. № 1. С. 3-33.
2. Азатян В.В., Мержанов А.Г. Разветвлено-цепная природа горения водорода при атмосферном давлении // Химическая физика. 2008. Т. 27. № 10. С. 1.
3. Азатян В.В. Цепные реакции в процессах горения, взрыва и детонации газов// Черноголовка: «Редакционно-издательский отдел ИПХФ РАН», 2017. – 448 с.
4. Lomakin S.M., Zaikov G.E. Modern Polymer Flame Retardancy // New Concepts in Polymer Science. - 2003, VSP Int. Sci. Publ. Utrecht, Boston, 272 p.
5. Grand F., Wilkie C.A., Fire Retardancy of Polymeric Materials, (2000), Marcel Dekker, Inc. New York – Basel, 572 p.
6. Horrocks A.R., Price D. Eds, Fire Retardant Materials, (2000), Woodhead Publishing Limited, Abington Cambridge, England, 442 p.
7. Le Bras M., Wilkie A.W., Bourbigot S., Eds., Fire Retardancy of Polymers: New Applications of Mineral Fillers, (2005), RSC Publishing, Cambridge, UK, 416 p.
8. Ломакин С.М., Заиков Т.Е. Полимерные нанокompозиты пониженной горючести на основе слоистых силикатов // Высокомогл. соед., 2005, Т. 45, № 1, с. 104.
9. Ломакин С.М., Дубникова И.Л., Березина С.М., Заиков Г.Е. Термическая деструкция и горение нанокompозита полипропилена на основе органически модифицированного слоистого силиката // Высокомогл. Соед. А, 2006, Т. 48, № 1, с. 90.
10. Ломакин С.М., Дубникова И.Л., Березина С.М., Заиков Г.Е. Термическая деструкция и горение нанокompозита полипропилена на основе органически-модифицированного слоистого алюмосиликата // Высокомогл. соед. 2006, серия А, том 48, издание 1, с. 90-105.
11. Lomakin S.M., Novokshonova L.A., Brevnov P.N., Shchegolikhin A.N. Thermal properties of polyethylene/montmorillonite nanocomposites prepared by intercalative polymerization // Journal of Materials Science. 2008, vol. 43, issue 4, pp. 1340-1353.
12. Lomakin S.M., Dubnikova I.L., Shchegolikhin A.N, Zaikov G.E., Kozlowski R., Gyeong-Man Kim and. Michler G.H, Thermal Degradation and Combustion of the Polyethylene/clay Nanocomposite Prepared by Melt Intercalation, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 94, 3, 719 (2008).

13. Rakhimkulov, A.D., Lomakin, S.M., Dubnikova, I.L., Shchegolikhin, A.N., Davidov, E.Y., Kozlowski, R., The effect of multi-walled carbon nanotubes addition on the thermo-oxidative decomposition and flammability of PP/MWCNT nanocomposites (2010) *Journal of Materials Science*, 45 (3), pp. 633-640.
14. Zaikov, G.E., Rakhimkulov, A.D., Lomakin, S.M., Dubnikova, I.L., Shchegolikhin, A.N., Davidov, E.Y., Kozlowski, R. Thermal degradation and combustion behavior of polypropylene/MWCNT composites (2010) *Mol. Cryst. and Liquid Cryst.*, 523, pp. 106-119.
15. Lomakin S., Brevnov P., Koverzanova E., Usachev S., Shilkina N., Novokshonova L., Krashennnikov V., Berezkina N., Gajlewicz I., Lenartowicz-Klik M. The effect of graphite nanoplates on the thermal degradation and combustion of polyethylene // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2017, 128, p. 275-280.
16. Morgan A.B., Charles A. Wilkie C.A., *Flame Retardant Polymer Nanocomposites*, (2007), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 421 p.
17. Hull T.R., Kandola B.K., *Fire Retardancy of Polymers - New Strategies and Mechanisms*, (2009), RSC Publishing, Cambridge, UK, 433 p.
18. Zanetti M., Lomakin S., Camino G. Polymer layered silicate nanocomposites // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2000, vol. 279, issue 1, pp. 1-9.
19. Y Mai, Yiu-Wing Mai, Y Mai Mai, Mai Mai, Zhong-Zhen Yu, Eds. *Polymer nanocomposites*, (2006), CRC Press, Cambridge, England, 612 p.
20. Новокшонова Л.А., Бревнов П.Н., Гринев В.Г., Чвалун С.Н., Ломакин С.М., Щеголихин А.Н. Кузнецов С.П., Нанокпозиционные материалы на основе полиэтилена и слоистых силикатов: синтез, структура, свойства // *Российские нанотехнологии*, 2008, № 5-6, 136-149.
21. Dubnikova, I., Kuvardina, E., Krashennnikov, V., Lomakin, S., Tchmutin, I., Kuznetsov, S. The effect of multiwalled carbon nanotube dimensions on the morphology, mechanical, and electrical properties of melt mixed polypropylene-based composites (2010) *Journal of Applied Polymer Science*, 117 (1), pp. 259-272.
22. E.V. Kuvardina, L.A. Novokshonova, S.M. Lomakin, S.A. Timan, I.A. Tchmutin. Effect of the Graphite Nanoplatelet Size on the Mechanical, Thermal, and Electrical Properties of Polypropylene/Exfoliated Graphite Nanocomposites. *Journal of Appl. Polymer Sci.* 2013, 3, pp. 1412-1424.
23. Ломакин С.М., Усачев С.В., Бревнов П.Н., Кувардина Е.Н., Новокшонова Л.А. Патент РФ «Полимерная композиция на основе олефинов, характеризующаяся пониженной горючестью» № 2013113667 от 20.11.2014 г.
24. Sakharov, A.M., Sakharov, P.A., Lomakin, S.M., Zaikov, G.E. Novel Class of Eco-Flame Retardants. Chapter 7, *Polymer Green Flame Retardants* ed. By D. Papaspyrides, Elsevier, 2014, pp 255-266.
25. Варфоломеев С.Д., Ломакин С.М., Сахаров А.М., Сахаров П.А., Горшенев В.Н., Демин В.Н. Патент РФ «Антипирен, способ его получения, способ огнезащитной обработки горючего субстрата и способ тушения очага горения» № 2425069 от 27.07.2011 г.
26. Варфоломеев С.Д., Ломакин С.М., Сахаров П.А., Хватов А.В., Луканина Ю.К., Коверзанова Е.В., Шилкина Н.Г., Миних А.А., Савосин С.И., Дементьев С.А. Патент РФ «Полиэфирное связующее пониженной горючести» № 2674210 от 10.01.2018 г.
27. Сахаров П.А., Ломакин С.М., Хватов А.В., Коверзанова Е.В., Луканина Ю.К., Шилкина Н.Г., Усачев С.В., Варфоломеев С.Д., Миних А.А. Патент РФ «Антипирен, способ его получения и способ огнезащитной обработки древесины» № 2674208 от 22.01.2018 г.
28. Фролов С. М. Наука о горении и проблемы современной энергетики // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*, 2008, т. LI, № 6.

С.М. Фролов¹, С.А. Набатников²

Новые технологии на основе управляемого детонационного горения

Впервые на необходимость энергетического использования детонационного горения обратил внимание Яков Борисович Зельдович. В 1940 году он опубликовал ставшую знаменитой статью [1], в которой доказал преимущество сверхзвукового детонационного горения над обычным медленным горением в части термодинамического коэффициента полезного действия.

К отличительным особенностям детонационного горения относят: наличие сильной ударной волны, ведущей детонацию, и химические превращения в режиме самовоспламенения за ударной волной. Эти особенности можно использовать для создания повышенной тяги в транспортных двигателях аэрокосмических, наземных, надводных и подводных аппаратов, совершения повышенной механической работы, работы фрагментации, формования, для быстрого разогрева и прочее, а также для получения веществ в сверхперегретом состоянии, например, гипертермализованной воды с чрезвычайно высокой реакционной способностью.

По сравнению с существующими энергетическими и транспортными установками, работающими на медленном управляемом горении топлива со стационарным рабочим процессом при постоянном давлении в камере сгорания, которые уже фактически достигли своего совершенства, в перспективных установках, работающих на управляемой детонации топлива с нестационарным рабочим процессом при значительном повышении давления в камере сгорания, верхнюю границу коэффициента полезного действия можно повысить на 15%-20%, существенно приблизив ее к эффективности идеального цикла Карно. Возникает вопрос: можно ли реализовать на практике управляемое детонационное горение?

В настоящее время активно рассматриваются два варианта: непрерывно-детонационное [2] и импульсно-детонационное [3] горение.

Непрерывно-детонационное горение можно организовать, непрерывно подавая горючее и окислитель в кольцевую камеру сгорания, так чтобы образованная горючая смесь сгорала во вращающейся детонационной волне. Это идея академика Б.В. Войцеховского [4].

Такое непрерывно-детонационное горение было успешно реализовано в ИХФ РАН в экспериментальных образцах водородно-кислородных и метано-кислородных детонационных ракетных двигателей (рис. 1).

Нам впервые в мире удалось экспериментально доказать энергоэффективность детонационного горения: тяга и удельные характеристики детонационного двигателя оказались на 7-8% выше, чем у двигателя на горении [5]. При этом давление в камере сгорания было вдвое меньше, чем у классического аналога [6].

¹ Заведующий отделом горения и взрыва Института заведующий отделом горения и взрыва и химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, доктор физико-математических наук

² Генеральный директор ООО «Новые физические принципы»

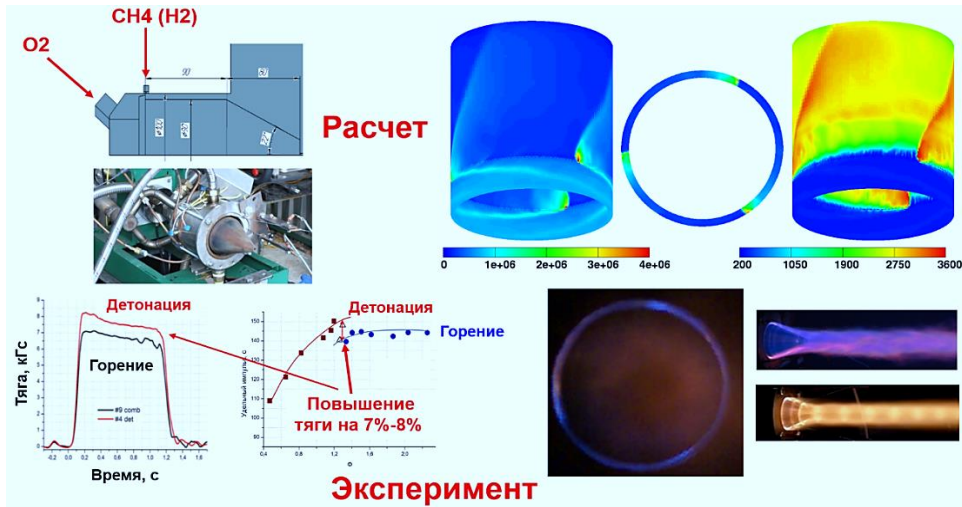


Рис. 1. Непрерывно-детонационные ракетные двигатели ИХФ РАН: расчеты подтверждаются экспериментом

Непрерывно-детонационное горение можно организовать и в жаровой трубе турбореактивного двигателя (ТРД). При этом ожидается, что вместо небольшого снижения полного давления в традиционной жаровой трубе, в детонационной жаровой трубе полное давление будет повышаться. Действительно, многомерные газодинамические расчеты ИХФ РАН показали, что каких-либо принципиальных препятствий на пути создания многорежимных детонационных камер сгорания для ТРД нет, а такие камеры могут обеспечить существенное (до 10%) повышение характеристик по сравнению с существующими аналогами (рис. 2).

Другой пример применения непрерывно-детонационного горения – энергоэффективные прямоточные двигатели высокоскоростных летательных аппаратов.

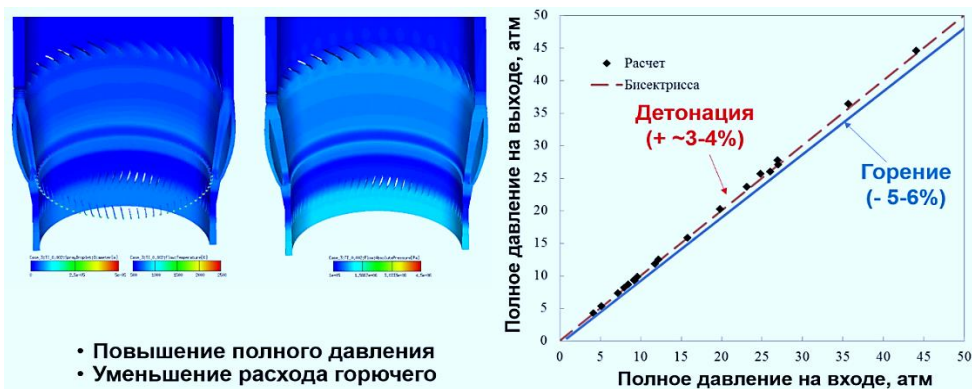
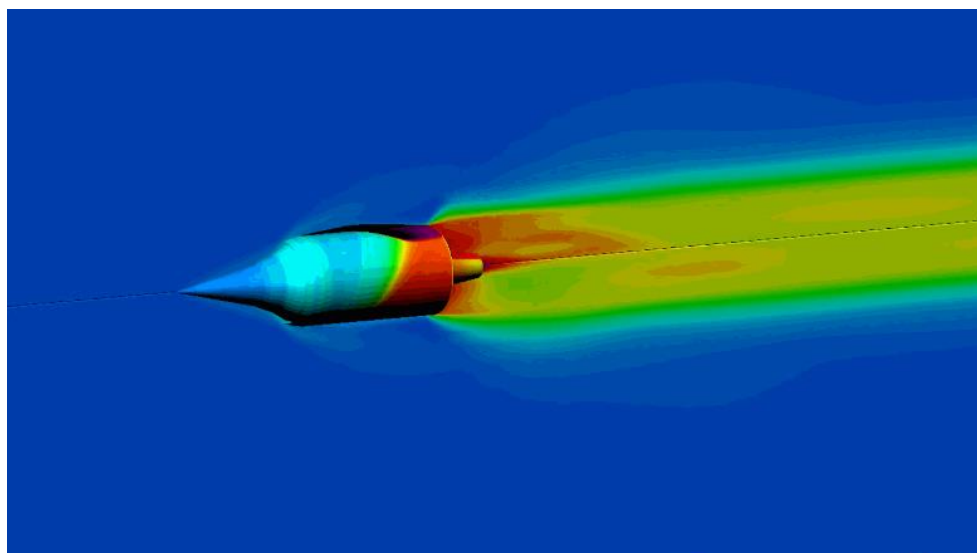


Рис. 2. Рабочий процесс в детонационном ТРД

На рис. 3 показан пример расчета атмосферного полета такого аппарата с непрерывно-детонационным двигателем на водороде с числом Маха 5 [7].



Расчет: водород, $M = 5$

Рис. 3. Детонационный прямоточный двигатель для высокоскоростного летательного аппарата

С помощью расчетов в ИХФ РАН спроектировали и изготовили модель, которую испытали в аэродинамических трубах ИТПМ СО РАН вместе с сибирскими коллегами [8, 9]. В огневых испытаниях при числах Маха набегающего воздушного потока от 4 до 8 нами впервые в мире зарегистрировано непрерывно-детонационное горение водорода в сверхзвуковом потоке и получена положительная эффективная тяга (рис. 4). Это важнейшее направление, несомненно, следует развивать.

Другая возможность реализовать на практике управляемое детонационное горение – организовать импульсно-детонационный рабочий процесс, в котором камера сгорания периодически заполняется топливной смесью, смесь поджигается и сгорает в бегущей детонационной волне, а после истечения продуктов детонации все повторяется. На этом принципе в 2011 г. нами создан первый в мире экспериментальный образец импульсно-детонационного двигателя коррекции орбиты (рис. 5). Этот двигатель создает высококалиброванные импульсы или биты тяги в вакууме с управляемой частотой до 200 Гц и обладает высокими удельными характеристиками [10].

Двигатели на импульсно-детонационном горении можно разместить на концах лопастей несущего винта реактивного вертолета, что позволит существенно увеличить весовую отдачу, упростить конструкцию и повысить безопасность эксплуатации вертолетов (рис. 6).

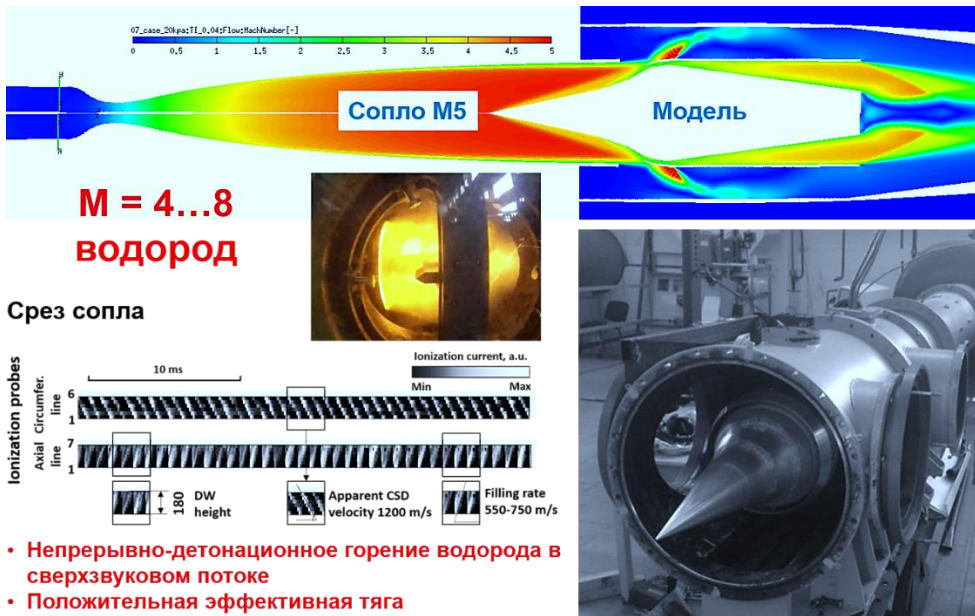


Рис. 4. Модель ИХФ РАН в аэродинамической трубе ИТПМ СО РАН

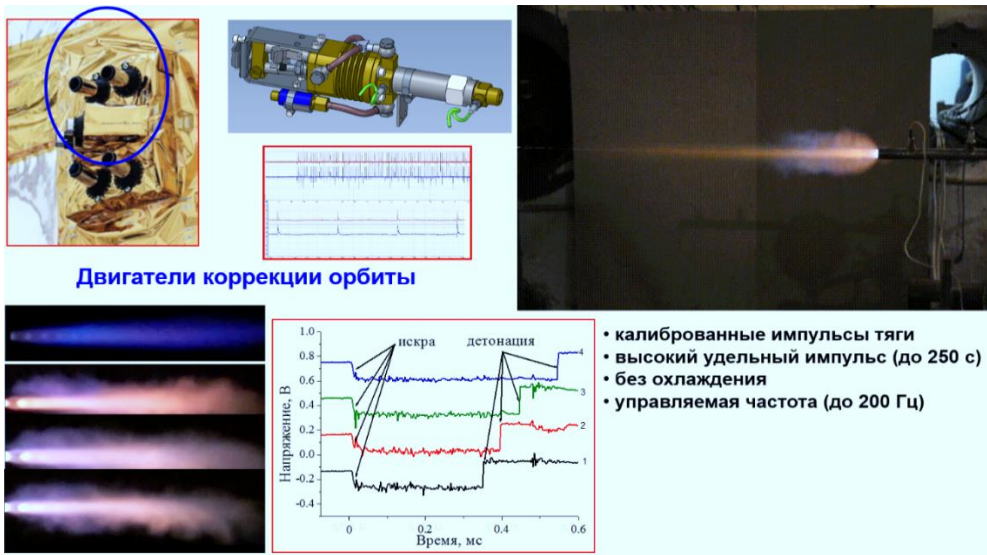
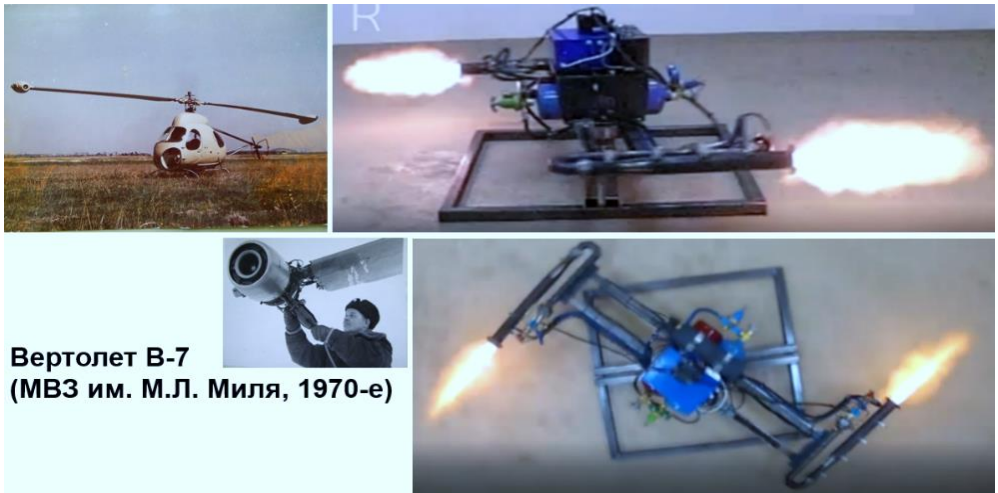


Рис. 5. Импульсно-детонационный двигатель коррекции орбиты ИХФ РАН

В 1970-е годы в СССР и за рубежом такие попытки предпринимались, но закончились неудачей: на концах лопастей размещали малогабаритные турбореактивные двигатели, которые не выдерживали огромных центробежных перегрузок. Применение импульсно-детонационных двигателей, не имеющих подвижных частей, позволит возродить очень привлекательную концепцию реактивного вертолета.



Вертолет В-7
(МВЗ им. М.Л. Миля, 1970-е)

- повышение грузоподъемности на 25%–30%
- упрощение конструкции (отсутствие редуктора и др.)
- повышение безопасности

Рис. 6. Вращение несущего винта реактивного вертолета двигателями на конце лопастей

Недавно мы предложили использовать импульсно-детонационные двигатели для надводного и подводного транспорта [11] (рис. 7). Такому двигателю не страшна кавитация: в нем нет подвижных частей, а его мощность легко масштабируется увеличением числа детонационных труб.

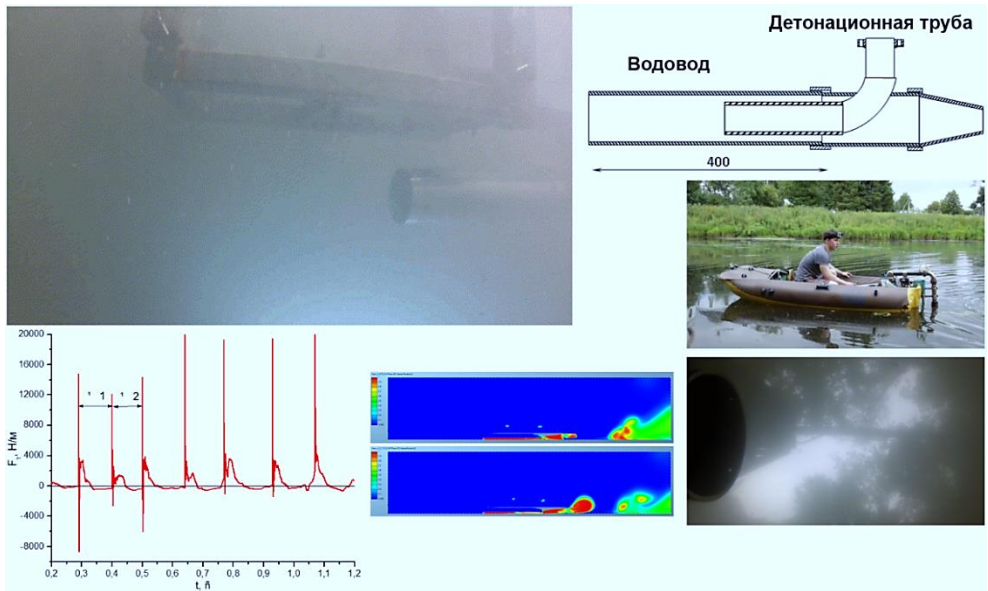


Рис. 7. Детонационный гидрореактивный движитель ИХФ РАН

Нами рассматриваются и множество других приложений управляемого детонационного горения. Одно из интересных приложений – тонкая детонационная фрагментация вязких жидкостей, например, тяжелых фракций нефти или водно-угольных суспензий [12] (рис. 8). При распылении таких жидкостей обычные форсунки дают капли размером около 500 микрон. Если же организовать импульсно-детонационную модуляцию распыла обычной форсунки, можно получить капли размером 15-20 микрон, которые горят голубым пламенем без каких-либо признаков сажеобразования.

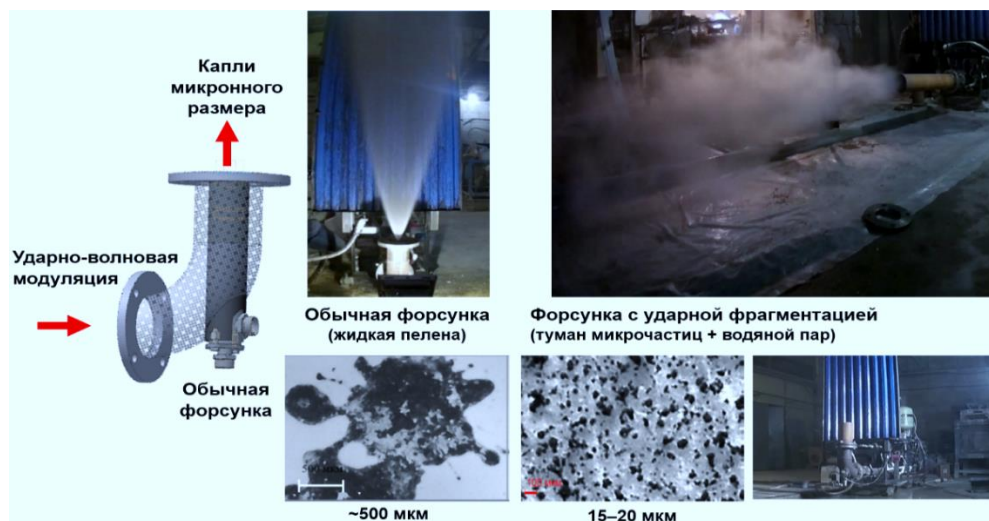


Рис. 8. Тонкая детонационная фрагментация вязких жидкостей (мазута, водно-угольных суспензий и др.)

Наконец, необходимо особо отметить нашу новую технологию беспламенной переработки твердых бытовых отходов гипертермализованной водой, получаемой с помощью управляемого импульсно-детонационного горения [13] (рис. 9).

В этой технологии детонация используется для получения сверхперегретого водяного пара с температурой выше 1700 °С, называемого гипертермализованной водой ввиду его чрезвычайно высокой реакционной способности. В результате обработки отходов такой водой можно получать синтез-газ и другие полезные продукты, причем какие-либо выбросы в атмосферу вообще отсутствуют. Эту технология разрабатывается ИХФ РАН совместно с промышленным партнером ООО «Новые физические принципы».

На рис. 10 показан демонстрационный образец установки, которая предназначена для непрерывной переработки иловых отложений.

Таким образом, применение управляемого детонационного горения в энергетических установках и транспортных двигателях, а также в химических технологиях и коммунальном хозяйстве сулит новый научно-технический прорыв.

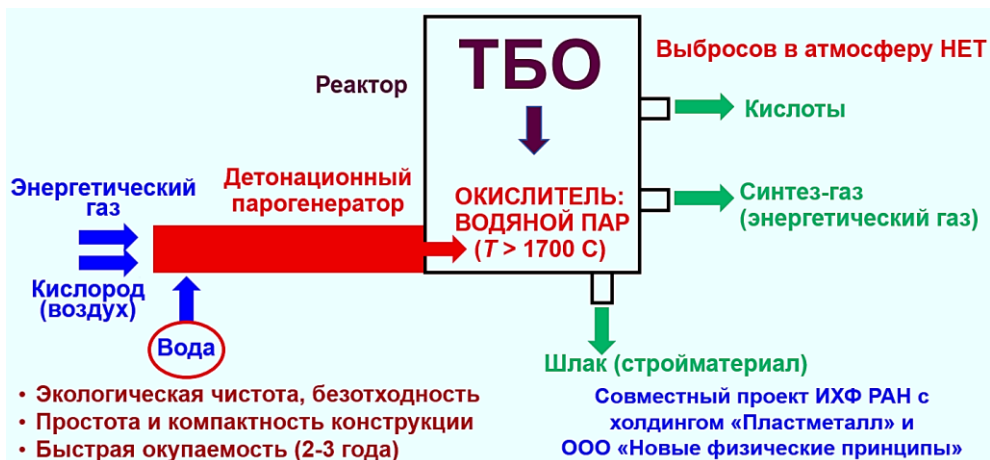


Рис. 9. Бесплатная переработка твердых бытовых отходов (ТБО) гипертермализованной водой, полученной детонационным способом

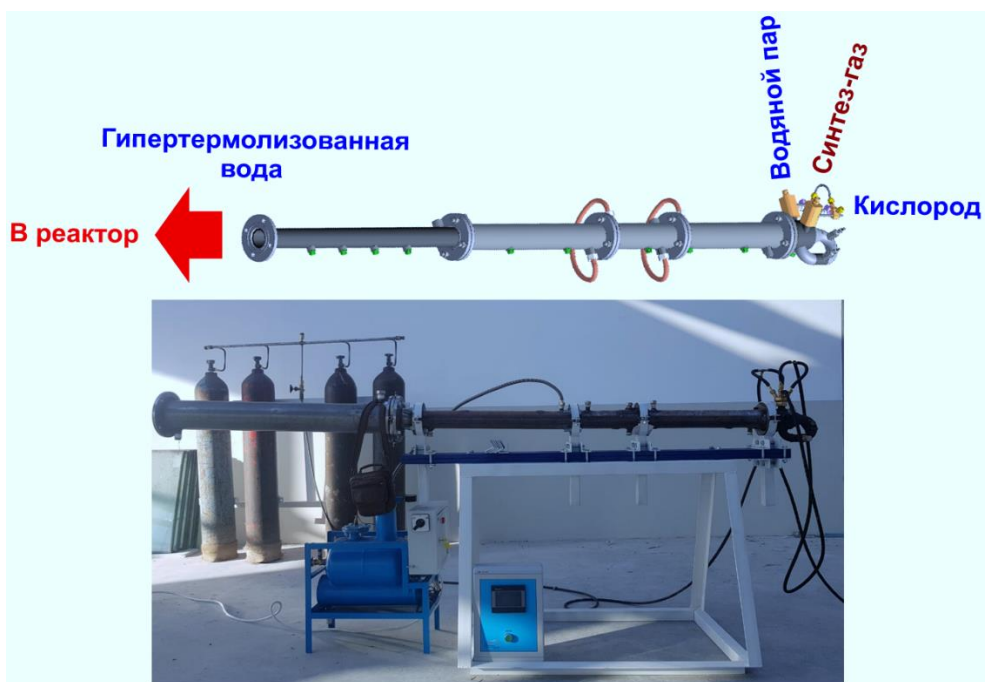


Рис. 10. Демонстрационный образец установки для переработки иловых отложений гипертермализованной водой

Литература

1. Зельдович Я.Б. К вопросу об энергетическом использовании детонационного горения. ЖТФ, 1940. Т. 10. №17. С. 1455-1461.
2. Быковский Ф.А., Ждан С.А. Непрерывная спиновая детонация. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 423 с.
3. Фролов С.М. Импульсные детонационные двигатели. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2006. 592 с.
4. Войцеховский Б.В. Стационарная детонация // Доклады АН СССР. 1959. Т. 129. № 6. С. 1254-1256.
5. Фролов С.М., Аксенов В.С., Гусев П.А., Иванов В.С., Медведев С.Н., Шамшин И.О. Экспериментальное доказательство энергоэффективности термодинамического цикла Зельдовича // Доклады академии наук. 2014. Т. 459. № 6. С. 711-716.
6. Фролов С.М., Аксенов В.С., Иванов В.С., Медведев С.Н., Шамшин И.О., Яковлев Н.Н., Костенко И.И. Ракетный двигатель с непрерывно-детонационным горением топливной пары «природный газ – кислород» // Доклады академии наук. 2018. Т. 478. № 4. С. 429-433.
7. Дубровский А.В., Иванов В.С., Зангиев А.Э., Фролов С.М. Трехмерное численное моделирование характеристик прямоточной воздушно-реактивной силовой установки с непрерывно-детонационной камерой сгорания в условиях сверхзвукового полета // Химическая физика. 2016. Т. 35. № 6. С. 49-63.
8. Фролов С.М., Звегинцев В.И., Иванов В.С., Аксенов В.С., Шамшин И.О., Внучков Д.А., Наливайченко Д.Г., Берлин А.А., Фомин В.М. Макет-демонстратор непрерывно-детонационного прямоточного воздушно-реактивного двигателя. Результаты испытаний в аэродинамической трубе // Доклады академии наук. 2017. Т. 474. № 1. С. 51-55.
9. Фролов С. М., Звегинцев В. И., Иванов В. С., Аксенов В. С., Шамшин И. О., Внучков Д. А., Наливайченко Д. Г., Берлин А. А., Фомин В. М., Шиплюк А. Н., Яковлев Н. Н. Испытания модели детонационного прямоточного двигателя в аэродинамической трубе при обтекании воздушным потоком с числом Маха 5,7 и температурой торможения 1500 К // Доклады академии наук. 2018. Т. 481. № 3. С. 277-281.
10. Фролов С. М., Аксенов В. С., Иванов В. С. Экспериментальная демонстрация рабочего процесса в импульсно-детонационном жидкостном ракетном двигателе // Химическая физика. 2011. Т. 30. №8. С. 58-61.
11. Фролов С. М., Аксенов В. С., Садыков И. А., Авдеев К. А., Шамшин И. О. Водометный движитель с импульсно-детонационным горением жидкого топлива // Доклады академии наук. 2017. Т. 475. № 3. С. 281-285.
12. Фролов С.М., Сметанюк В.А., Набатников С.А., Моисеев А.В., Андриенко В.Г., Пилецкий В.Г. Способ сверхтонкого распыливания жидкого топлива и устройство для его осуществления // Патент Российской Федерации на изобретение №2644422 от 12.02.2018. Приоритет от 12.04.2017.
13. Фролов С.М., Сметанюк В.А., Авдеев К.А., Набатников С.А. Способ получения сильно перегретого пара и устройство детонационного парогенератора (варианты) // Заявка на изобретение № 2018106867/20(010556) от 19.03.2018.

А.Б. Сивенков¹

Огнезащита строительных материалов и конструкций. Проблемы и перспективы

Обеспечение пожарной безопасности остается одной из наиболее важных проблем современности. В соответствии с данными пожарной статистики, фактически каждые две-три минуты в России происходят пожары, в которых, к сожалению, ежегодно гибнет от 15 до 20 тыс. человек. Такая ситуация складывается в связи с тем, что в зданиях и сооружениях зачастую нарушаются требования пожарной безопасности, а также применяются строительные материалы и конструкции, не отвечающие требованиям противопожарных норм.

Данная ситуация обостряется еще и тем, что фактически до сегодняшнего дня малоизученным являются особенности пожарной опасности различных строительных материалов и конструкций, а также в некоторых случаях имеются несовершенства методов огневых испытаний.

В связи с вышесказанным Академия противопожарной службы МЧС России совместно с рядом научно-исследовательских и учебных учреждений проводит многолетние исследования. В частности, совместная работа ведется с Институтом химической физики, Институтом биохимической физики РАН и рядом других учреждений.

Данная работа направлена на выявление особенностей поведения различных материалов и конструкций, влияние различных факторов на пожарную опасность различных строительных материалов.

Получено достаточно большое количество важнейших зависимостей и характеристик, которые в настоящее время используются непосредственно на практике, в различных справочных материалах. Сейчас проводится работа по внедрению нормативно-технических документов.

Отдельным направлением является исследование непосредственного влияния длительного срока эксплуатации на пожарную опасность и огнестойкость конструкций из различных материалов (рис. 1). Это направление нашим научным коллективом было инициировано впервые в мировой практике. Получены очень интересные данные. В первую очередь надо констатировать тот факт, что во многих материалах происходят физико-химические изменения в результате длительной эксплуатации, которые приводят к значительному изменению пожароопасности и огнестойкости конструкций.

Так, например, для деревянных конструкций можно свидетельствовать о возможном снижении пределов огнестойкости на 20-30 процентов. К сожалению, данная информация пока не находит должного отражения в нормативно-технической литературе, тем не менее мы прикладываем усилия для того, чтобы эти результаты использовались непосредственно на практике.

¹ Академия государственной противопожарной службы МЧС России, доктор технических наук

Можно свидетельствовать о наличии т.н. нового вида угроз для человека в зданиях и сооружениях при возникновении пожаров, а именно – изменение пожарной опасности и огнестойкости строительных конструкций в результате их длительной эксплуатации.



Рис. 1. Пожарная опасность и огнестойкость деревянных конструкций различного срока эксплуатации

Толчком для данных исследований служила целая серия пожаров, когда были утрачены целые десятки объектов культуры и памятников деревянного зодчества. В этом контексте хотел бы остановиться на пожаре 2015 г. в Институте научной информации общественных наук, где в книгохранилище находились исторические книги, что тоже, по нашему мнению, повлияло на особенность пожара и особенности нарастания опасных факторов пожара.

Центральным местом этих исследований является применение различных огнезащитных материалов. В соответствии с ФЗ № 23 «Технические регламенты к требованиям пожарной безопасности» предписывается применение различных видов огнезащиты для снижения вероятности воздействия опасных факторов пожара на человека, а также снижение пожарной опасности и повышение огнестойкости строительных конструкций.

К сожалению, практика применения огнезащиты для вышеуказанных целей малочисленна, исследования имеют ограниченный характер. Достаточно привести один пример. Долгое время была ключевой работа диссертация Харитоновна Виктора Сергеевича, которая была защищена еще в 1992 г. То есть, прошло 25 лет, а по сути, глубоких работ по защите деревянных конструкций не было. И только совместно наш научный коллектив начал эту большую работу.

Разработана серия огнезащитных материалов, которые являются эффективными не только для современной древесины, но и для древесины длительного старения. Здесь некоторые составы снижают скорость окисления угольных слоев фактически в пять и более раз.

Подробно изучены механизмы огнезащитного действия. Очень интересный результат получен по применению поверхностных огнезащитных составов для повышения пределов огнестойкости фактически на 10 и более процентов (рис. 2). Результат тоже был получен впервые.

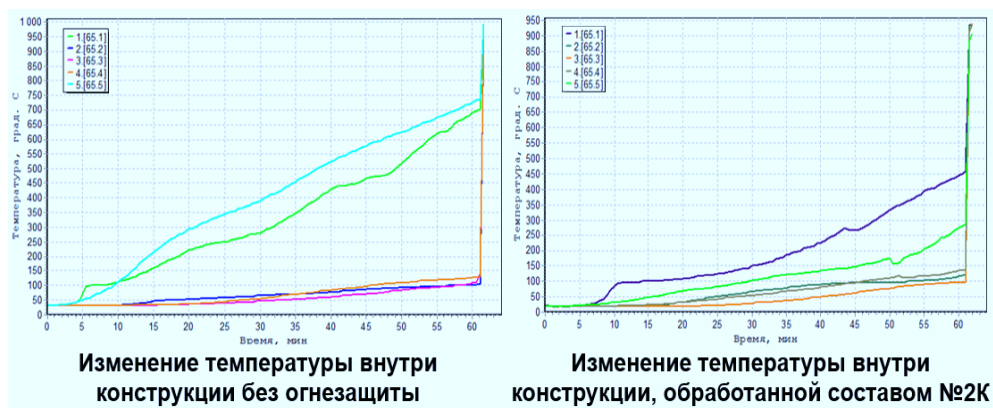


Рис. 2. Испытания деревянных конструкций с огнезащитой на огнестойкость по ГОСТ 30247.0-94, ГОСТ 30247.1-94

Впервые были применены инновационные способы пропитки древесины, в частности – импульсный способ пропитки, который в некоторых случаях позволяет повысить физико-механические характеристики древесины, а также обеспечить древесине получение группы материалов с малодымообразующей способностью. Результат, тоже заслуживающий внимания.

По результатам испытаний полномасштабных конструкций было установлено, что тепловые эффекты практически отсутствуют в течение 45-минутного стандартного огневого воздействия, что позволяет получать конструкции с классами пожарной опасности «К-1» и «К-2».

И еще одно направление, о котором говорил Сергей Дмитриевич, Варфоломеев – применение огнезащитных покрытий на основе модификации растительного сырья и отходов его переработки. Направление очень перспективное. Фактически уже 15 лет мы проводим исследования по изучению эффективности механизмов огнезащитного действия. Составы показали себя эффективными по снижению воспламеняемости, распространения пламени, дымообразующей способности, а также показали себя перспективными в повышении пределов огнестойкости.

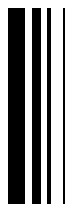
В заключение хотелось бы сказать, что работа предстоит очень большая. Работа очень тяжелая, тем не менее, так или иначе я хотел бы сказать о том, что необходимо совершенствовать систему государственной политики

в области обеспечения пожарной безопасности, в том числе отдельный сектор – разработка и применение оценки качества различных видов огнезащиты. Это:

- совершенствование системы контроля качества и применения средств огнезащиты с достижением требуемых показателей по пожарной опасности и огнестойкости;

- продолжение исследований по изучению особенностей многих материалов по оценке пожарной безопасности и огнестойкости с учетом различных факторов – видовых признаков, сроков и условий эксплуатации – с использованием комплекса пожарно-технических и физико-химических методов;

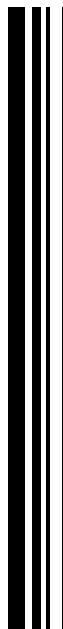
- совершенствование методологии оценки эффективности пожарной опасности строительных материалов и конструкций и внедрение полученных результатов в законодательную, нормативно-техническую и справочную базу данных для объективной оценки пожарной опасности зданий и сооружений различного функционального назначения.



П Р И О Р И Т Е Т

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

**«Возможность эффективного ответа
российского общества на большие вызовы с учетом
взаимодействия человека и природы, человека
и технологий, социальных институтов
на современном этапе глобального развития,
в том числе применяя методы гуманитарных
и социальных наук»**



Председатель Совета по приоритету –
академик РАН ДЫНКИН А.А.

А.А. Дынкин¹

Доклад председателя совета по приоритету: Социально-гуманитарное измерение ответов на большие вызовы

Теоретически, все большие вызовы включают задачи, решение которых возможно методами социальных и гуманитарных наук.

Хотя Совет по данному приоритету сфокусировал работу по шести направлениям и, соответственно, было создано шесть проектных групп (рис. 1), исходя из нашего понимания логики больших вызовов и приоритетов, сформулированных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (СНТР), с докладами на этой сессии выступят лидеры четырех проектных групп.

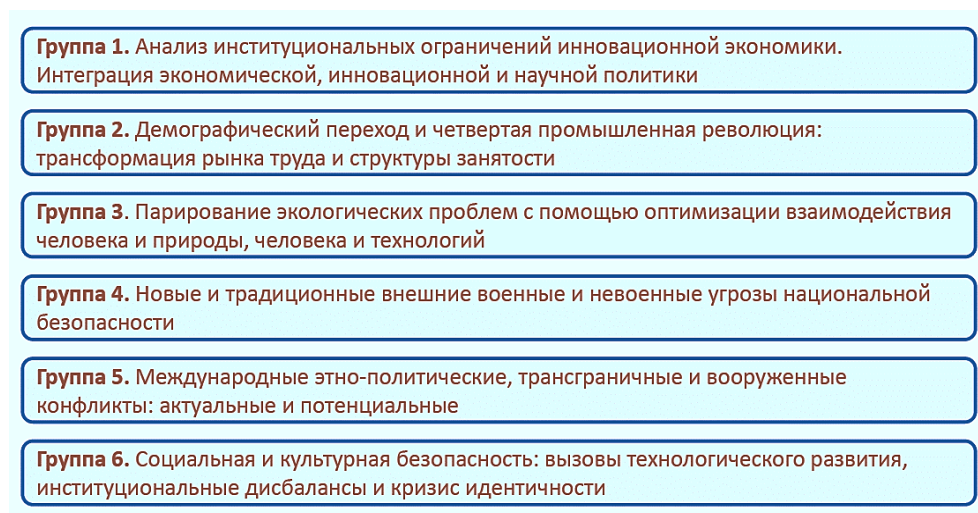


Рис. 1. Постоянно действующие проектные группы Координационного Совета

В 2018 г. Советом был проведен ряд проектных семинаров, были созданы экспертные сети, по контракту с Министерством науки и высшего образования выполнено исследование в интересах СНТР и нашего Совета. В ИМЭМО запланирована большая международная конференция «EMERTECH» с участием более 30 зарубежных исследователей, панели которой структурированы под задачи проектных групп.

Прогностическое исследование, которое только что упомянул, выполнено ИМЭМО имени Е.М. Примакова при участии НИЦ «Курчатовский Институт». Вот некоторые результаты.

¹ Академик-секретарь Отделения глобальных проблем и международных отношений РАН, президент Национального исследовательского института мировой экономики и международных отношений имени Е.М. Примакова РАН, академик РАН

Александр Михайлович упомянул в числе стоящих перед нами задач – вернуть общественный авторитет РАН. Чего же хочет общество от науки? Для выявления отношения российского общества к большим вызовам мы использовали социологические методы. Было проведено два опроса:

– широкий опрос о восприятии общественным мнением больших вызовов СНГР, позволивший их ранжировать, определить проблемы и ограничения их парирования;

– экспертный (204 участника) оценочный опрос, о путях реагирования, возможных направлениях исследовательских проектов и потенциальных рынках, формирующихся на их основе. В этом опросе участвовали члены совет молодых ученых РАН, члены молодежного координационного совета при Совете по науке и образованию при Президенте Российской Федерации и др. Получено много результатов. Представлю некоторые из них.

Ранжирование больших вызовов, с точки зрения оценки наибольших угроз приведено на рис. 2. В стилизованном под социологический опрос виде сформулированы основные вызовы СНГР.



Рис. 2. Большие вызовы в общественном восприятии

В общественном сознании респондентов экономическая стагнация однозначно выделяется как приоритетный вызов. Второй по значимости считается угроза военных конфликтов. Дефицит транспортной и иной инфраструктуры, старение населения, деградация среды расположились, соответственно, на 3-5 местах. Вызовы дефицита энергетических ресурсов и продовольствия заметно меньше беспокоят опрошенных.

В числе социально-экономических проблем и барьеров, мешающих научно-технологическим прорывам, опрос отдает приоритет «низкой социальной ценности научной деятельности», связанной с ней «утечке мозгов» и растущему социальному неравенству (рис. 3). Этот результат получен в самом начале ноября 2018 г. В то время, как рост безработицы, несмотря на

все медийные страшилки про искусственный интеллект и «промышленную революцию 4.0», пугают лишь 3% опрошенных.

Любопытно, что участники опроса не совершают распространенную ошибку, для обозначения которой в экономической теории существует даже специальный термин – «заблуждение, предполагающее фиксированный объем труда» (the lump of labor fallacy). Речь идет об умозаключениях типа: «Если производительность труда в результате внедрения новых технологий выросла на X процентов, то, значит, спрос на рабочую силу снизится также на X процентов». Этот силлогизм ложный, так как исходит из предположения о фиксированности объема выпуска и не учитывает действия разнообразных макроэкономических эффектов обратной связи.



Рис. 3. Барьеры прорывного научно-технологического развития

На самом деле при повышении производительности труда объем выпуска не остается неизменным: ее рост влечет за собой увеличение доходов либо предпринимателей, внедривших нововведения, либо работников, начинающих использовать более совершенное оборудование, либо потребителей, получающих выгоду за счет снижения цен. А чаще всего и тех, и других, и третьих. Возросшие доходы транслируются в более высокий потребительский и инвестиционный спрос, а удовлетворить его нельзя без привлечения дополнительных рабочих рук.

Иными словами, и в теории, и на практике вполне представима ситуация, когда внедрение новых технологий будет не уменьшать, а увеличивать число рабочих мест в экономике. Этот вывод подтверждается, скажем, 20-летним прогнозом по трудозамещающему эффекту искусственного интеллекта в Великобритании (рис. 4). Конечно, эффект неравномерен по секторам, но на 20-летнем горизонте – нейтрален по отношению к труду. И этот результат подтверждает компетентность наших респондентов.

Общественное мнение однозначно указывает на перспективный набор технологий: медицина, фармацевтика, цифровизация, робототехника, – что

отражает понимание проблемного положения в этих сферах и необходимости его преодоления и *совпадает с целями СНТР, т.е. GeoTech* (рис. 5).

Экспертный опрос, в отличие от опроса общества, о путях реагирования на вызовы предполагал количественную 10-бальную оценку. Это позволяет сравнить значимость ответов. Для наглядности ответы сгруппированы по средним показателям значимости: высокая, средняя, низкая. Эксперты, как и общество полагают, что основные ограничения для эффективного ответа России на «большие вызовы» обусловлены экономической стагнацией и социальным неравенством. Любопытно, что военные конфликты и санкции в научно-технической и финансовой сфере, представляют, по оценкам экспертов, почти одинаковую угрозу (рис. 6).

В предложенном для оценки спектре возможных приоритетов научных исследований и, соответственно, формирования КПНИ, перспективными направлениями в социогуманитарной сфере названы экономические, прогностические, социологические и демографические исследования. Оценки значимости изучения безопасности, истории и этнических конфликтов в контексте указанных вызовов оказались несколько ниже (рис. 7).

Прогноз выбытия и создания рабочих мест искусственным интеллектом (2017 – 2037 гг.)						
Сектор	% существующих рабочих мест (2017)			Количество рабочих мест (тыс.чел.)		
	Создание	Выбытие	Результат	Создание	Выбытие	Результат
Здравоохранение и социальная сфера	34%	- 12%	22%	1,481	- 526	955
Научно-техническая сфера	33%	- 18%	16%	1,025	- 541	484
Информация и коммуникации	27%	- 18%	8%	388	-267	121
Образование	12%	- 5%	6%	345	-158	187
Административное и сервисное обслуживание	23%	-24%	-1%	698	- 733	- 35
Оптовая и розничная торговля	26%	- 28%	- 3%	1,276	- 1,403	- 127
Строительство	12%	- 15%	- 3%	279	- 355	- 75
Финансы и страхование	18%	- 25%	- 7%	209	- 286	- 77
Государственное управление и оборона	4%	- 23%	- 18%	64	- 339	- 274
Транспорт и хранение	17%	- 38%	- 22%	296	- 683	- 387
Производство	5%	- 30%	- 25%	133	- 814	- 618
Итого	20%	- 20%	0%	7,176	- 7,008	169

Рис. 4. Двадцатилетний прогноз влияния искусственного интеллекта на занятость по секторам

Эксперты в целом поддержали предложенный набор перспективных социогуманитарных технологий. Все технологии поддержаны на уровне 80%. Полностью отрицательных оценок нет. Максимально значимы – новые методики оценки рисков и угроз в широком спектре областей (рис. 8).

Вопрос: На каких направлениях научно-технологического развития с точки зрения интересов российского общества целесообразно сосредоточить основные финансовые, кадровые и иные ресурсы (выберите три)?



Рис. 5. Критически важные технологии

Вопрос: Какие большие вызовы Вы считаете наиболее значимыми в перспективе на 10-12 лет для социально-экономического и научно-технологического развития РФ?



Рис. 6. Результат экспертного опроса I

Вопрос: Какие направления развития гуманитарных и общественных наук Вы считаете приоритетными для поиска путей реагирования на большие вызовы на долгосрочную перспективу?

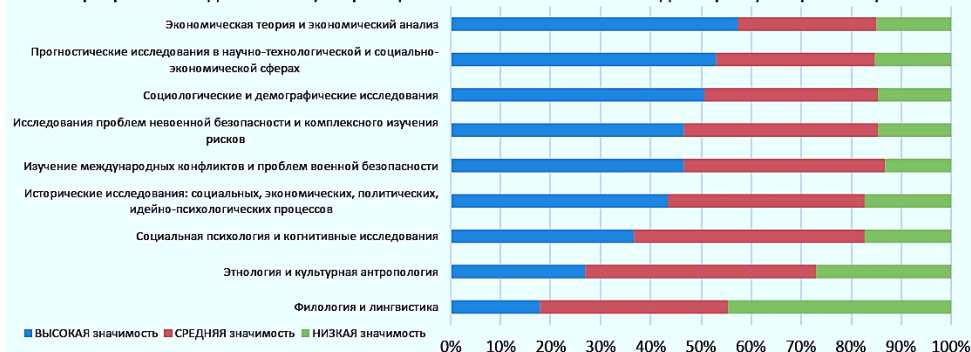


Рис. 7. Результат экспертного опроса II

В результате проделанной работы, мы пришли к следующим выводам:

1) Представленная методика выявления отношения общества к большим вызовам и направлений реагирования на них позволяет выстроить иерархию общественной озабоченности, оценить значение разных вызовов, показать социально значимые направления реагирования.

2) Сравнение общественного мнения и экспертных оценок по иерархии вызовов показывает, что при общем характере оценок приоритетности проблем эксперты больше озабочены вызовами социального характера.

3) Эксперты поддержали предложенный набор продуктов и технологий, который может сформироваться в результате развития социогуманитарных исследований по указанным направлениям.



Рис. 8. Результат экспертного опроса III

Социально-гуманитарная экспертиза больших вызовов и оптимизация инструментов и методов их парирования определяются воздействием этих вызовов на классическую триаду: личность, общество, государство.

Мои коллеги дальше будут больше говорить о вызовах обществу и государству. Поэтому скажу два слова о личности. Специалисты из проектной группы № 6 (член-корреспондент И.С. Семененко) полагают, что большой вызов для личности – это кризис идентичности. Он проистекает в том числе из размывания ценностных ориентиров и неопределенности личных жизненных перспектив. Неустойчивые социальные связи актуализируют ситуативные, в том числе деструктивные групповые идентичности. Это источник угроз для социальной и культурной безопасности. Ответом является развитие форм гражданской самоорганизации и институтов обратной связи граждан и государства. В качестве такой формы выступает, в том числе, **политика идентичности**, в которую должны быть вовлечены, помимо государства, наука и институты образования, гражданские организации, бизнес, СМИ.

Такая новая постановка вызывает большой резонанс. Образовательный Фонд «Талант и Успех», Центр «Сириус», на базе которого сегодня создается Университет, выразили заинтересованность в создании образовательных программ и совместных исследованиях идентичности.

В.В. Наумкин¹

Причины возникновения и пути урегулирования этнополитических конфликтов

В докладе академика А.А. Дынкина говорилось, в том числе, о проблеме, которая шла как пятая группа или пятое направление в Совете, – это конфликты.

Если посмотреть на состояние этнополитических конфликтов, то мы видим сегодня трансформацию тех старых конфликтов, которые долго существовали, и появление конфликтов нового поколения, с новыми элементами, особенно опасными в случае, когда там высок уровень насилия.

Можно говорить о трех поясах конфликтности, которые непосредственно затрагивают интересы России. Это прежде всего то, что происходит непосредственно в нашей стране, где тоже есть узлы напряженности, временами вспыхивающие конфликтами или, может быть, в смягченной форме, но тем не менее это происходит.

Во-вторых, это то, что происходит вокруг нас, на территории СНГ. В-третьих, это тот пояс, где непосредственно сконцентрированы зарубежные интересы нашего государства. И можно здесь прежде всего говорить о Ближнем Востоке, где мы достаточно сильно вовлечены в происходящие там процессы. Не нужно доказывать, почему это для нас важно.

Если говорить о классическом определении такого этнополитического конфликта, это осуществляемое в той или иной форме групповое противоборство преследующих политические цели двух или нескольких сторон, к которым хотя бы одна апеллирует к этничности.

Непосредственное отношение этих конфликтов к нашим интересам очевидно. И это подход, который требует сегодня какой-то адаптации к новой мировой действительности, международной действительности. Он продиктован вот этой сложившейся ситуацией.

Несколько ее черт. С одной стороны, практически все страны сегодня охвачены процессом глобализации. Он предполагает свободное передвижение по миру трех основных потоков – товаров и капиталов, людей, информации и культурных ценностей. Мы также очень глубоко вовлечены в процесс глобализации.

Одновременно мы являемся бенефициарами этого процесса, как и все другие нации, государства. С другой стороны, мы являемся и ее жертвами, потому что наша зависимость от зарубежных игроков, безусловно, является негативной стороной.

Есть и тенденция к ограничению глобализации, даже к ее сворачиванию. Причем носителями ее выступают самые развитые страны мира и, в первую очередь, США. И, безусловно, те ограничения, которые сегодня накладываются на торговлю, на разного рода обмена, конечно, грозят серьезными ущербами для нашего развития.

¹ Научный руководитель Института востоковедения РАН, академик РАН

В то же время и менее развитые страны, которые вроде бы являются безусловными бенефициарами, видят для себя угрозу в самом этом процессе и в том, как она используется силами, стремящимися к глобальному доминированию. В мире стали привычными торговые войны, причем в их ярко политизированном варианте. Стали привычным явлением санкции против наций и государств, корпораций и компаний или же политических элит.

Это используется как оружие, и мы говорим, как о бурно развивающейся сфере и ограничении на информационные обмены целым рядом государств, которые становятся все более частыми. Это тоже препятствие на пути ее развития.

Нужно сказать о быстром росте числа мигрантов, которые перемещаются в основном в направлении с юга на север, что порождает межэтническую напряженность. Растущий разрыв в уровне жизни и демографические проблемы Севера будут и далее способствовать миграциям, обостряя конфликтность.

По прогнозам ООН, ожидается, что между 2015 и 2050 годом коренное население Европы уменьшится на 63 миллиона человек, но туда за это время придут 31 миллион мигрантов. А общий объем притока мигрантов в развитые страны за это время составит 91 миллион человек. Демографические трудности, как все знают, есть и в нашей стране, и неизбежный рост числа мигрантов, возможно вследствие исчерпания ресурсов ближнего зарубежья, а также их приток из дальнего зарубежья будет создавать у нас определенные проблемы.

Уже упоминавшийся здесь кризис идентичности, о котором говорил А.А. Дынкин, является одной из непосредственных причин, порождающих этнополитические конфликты.

Влияние сильных цивилизаций воспринимается как фактор, угрожающий существованию слабых или тех, кто позиционирует себя в качестве слабых, вызывает приток националистических чувств и стремление отгородиться от идущих извне культурно-информационных потоков, через которое может проходить внедрение чуждых местной культуре ценностей, что воспринимается как угроза самому существованию этого национального сообщества наций и государств. То же самое касается и меньшинств, которым угрожает доминирование культуры главной этнонации.

На повестке дня стоит вопрос о праве этнонациональных групп на свою исконную идентичность, на ее защиту. Это скорее может быть проблемой сегодня и международного права. На фоне усиления эгоистических тенденций в политике большого числа государств это серьезная угроза.

Произошел распад прежнего мирового порядка, а новый в лучшем случае только рождается в муках. Произошла резкая разбалансировка, а то и утрата глобальной управляемости, что сказывается и на эффективности попыток урегулирования конфликтов. Это имеет непосредственное отношение к нам, поскольку наша страна вовлечена в эти усилия. На них тратятся большие ресурсы, и здесь роль научного сообщества достаточно высока, потому что и экспертное сопровождение этих процессов, и роль научной дипломатии

известны. К этому следует добавить кризис всей системы международных организаций, в том числе ООН, и институты, которые занимаются миротворчеством, а также очевидную эрозию норм международного права.

На фоне утраты этой глобальной управляемости возросла роль региональных государств с их массой нерешенных межэтнических и межконфессиональных проблем. Обострилось соперничество за обладание ресурсами, и это очевидно, в том числе между этнонациональными элитами. Нам, кто занимается Востоком, это очевидно. Да, в качестве императива выступает тезис о всеобщем праве на равный доступ к ресурсам, который подогревает это соперничество, ведущийся и за доступ к властным ресурсам и за региональное влияние.

Резко возросшая потребность в защите интересов этнических конфессиональных групп вызывает появление все большего числа групп солидарности, часть из которых стремительно вооружается. На этом фоне немалое число упомянутых конфликтов под воздействием разного рода триггеров или став объектом манипуляций со стороны внутренних или внешних факторов, актуализуется и переходит из латентной формы, в которой они существовали в качестве десятилетий, в насильственную.

Разрыв между государствами и нациями и этническими группами в уровнях ВВП, доходов населения. Социальные болезни, в первую очередь бедность и безработица, отсутствие доступа к медицинской помощи, образованию, к чистой питьевой воде создают питательную среду для обострения старых и появления новых ЭПК – этнополитических конфликтов. Конца этим проблемам не видно, и решение их в каком-то радикальном варианте тоже пока не просматривается.

В мире остаются народы, которым не удалось создать собственное государство. К примеру, на Ближнем Востоке это курды или палестинские арабы. Их национальные чаяния вступают в острое противоречие с интересами государств, на территории которых они проживают, или под оккупацией которых они находятся. Глобальные державы манипулируют элитами этих народов в своих геополитических интересах часто для ослабления неугодных им режимов.

Подобные манипуляции имеют особо тяжелые последствия в том случае, когда глобальная держава в нарушение норм международного права осуществляет вооруженное вторжение на территорию того или иного государства для свержения правящего в нем режима. Понятно, что эти процессы также наносят ущерб интересам нашего государства, в том числе, системе внешнеэкономических связей и тем многочисленным контрактам, которые мы потеряли в результате тех или иных событий.

Во главе групп, которые расплодилось в странах, где воцарились в результате государственности хаос и анархия, отношения между этими этническими национальными группами обостряются, они вступают в острое противоборство. Во главе их стоят в основном негосударственные акторы, в том числе исповедующие радикальные экстремистские взгляды и пытающиеся реализовать проекты государственного строительства с помощью

террористических методов. В качестве такой группы всем известно запрещенное в России Исламское государство, которое вовсе не потеряло своего потенциала и имеет большое число симпатизаторов в исламском мире, хотя и потеряло территорию, на которой они пытались создать вот это квазигосударство.

В ходе этих процессов в ряде регионов мира кризис поражает саму систему наций и государств, что сказывается так или иначе на всех государствах, но это особенно касается тех, которые ранее были в колониальной зависимости и границы, между которыми были прочерчены колониальными администраторами. В результате некоторые из них перешли в категорию так называемых «провалившихся» государств, на территории которых власть и контроль над ресурсами поделены между силами, в том числе позиционирующими себя как выразители интересов этнических, конфессиональных и региональных групп населения. Среди них Ливия, Сирия, Йемен, Сомали и некоторые другие.

Те потери, которые понес российский бизнес в результате событий последнего десятилетия, огромны, и ущерб, к сожалению, не был предвиден, потому что, по большому счету, риски для бизнеса плохо просчитываются, в том числе и вследствие недостаточно профессиональной экспертной оценки или нежелания привлечь к этому экспертов, прежде всего, академического уровня.

Нерешенность ЭПК угрожает стабильности многих государств и регионов мира, негативно влияет на глобальную безопасность. В сложившейся ситуации урегулирование сталкивается с большим числом препятствий. Именно поэтому не удалось добиться решения одного из самых застарелых конфликтов – арабо-израильского или палестино-израильского, – куда вовлечена Россия, несмотря на мощную международную правовую базу. Остается не решенным карабахский конфликт. Россия – сопредседатель Минской группы. Благодаря исключительно важной военно-дипломатической роли России, удалось очистить от террористов территорию в Сирии. Уровень вооруженного противостояния там был снижен, однако, до окончательного урегулирования еще далеко.

В условиях хаотичного миропорядка, усиления роли региональных факторов существующие конфликты можно характеризовать как «гибридные» по аналогии с войнами.

Но, применительно к этим конфликтам, «гибридность» должна пониматься, прежде всего, как включение в многоуровневое противоборство широкого арсенала средств – от вооруженного насилия до информационной войны с использованием кибероружия, Интернета, теле- и радиовещания, народной дипломатии и разного рода международных площадок. Понятно, что с бурным ростом новых информационных технологий это противостояние, использование их в деструктивных целях будет становиться более активным.

Понятно, что все конфликты, о которых я говорил, переживают трансформацию, и в этих условиях становится более актуальной задача академической концептуализации рассматриваемого нового вида конфликта,

особенно с применением вооруженного насилия. Надо сказать, что здесь много видов того, как зарубежные круги используют эту конфликтность в недружественных нам целях.

Здесь достаточно привести в пример Украину: мнимый голодомор или манипуляции с религиозными вопросами, в частности, известное решение Константинопольского патриархата о предоставлении украинской национальной церкви автокефалии, или проблемы т.н. мнимого «черкесского геноцида», который продолжается за рубежом. К сожалению, здесь используются просчеты административной политики в отдельных регионах Российской Федерации, в частности, в тех процессах, которые мы сегодня наблюдаем на Северном Кавказе.

Ясно, что более широкое привлечение ученых Российской академии наук в интеграции социогуманитарных наук с методами точных наук (особенно информационного характера) могло бы помочь экспертной проработке принимаемых административных решений в зонах, где в прошлом возникали конфликтные ситуации, учитывая нашу ответственность за миротворчество.

И конечно же, изучение рисков, связанных в том числе с интересами российского бизнеса и российского государства в целом, – очень серьезная проблема. Потери от отсутствия адекватной оценки этих рисков сопоставима с теми потерями, которые понес российский бизнес, к сожалению, от низкого качества поставляемой на международные рынки российской продукции, в том числе некоторых видов этой продукции, о которых до меня очень оптимистично говорилось с этой трибуны.

Ф.Г. Войтоловский¹

Трансформация внешних условий обеспечения национальной безопасности России

Мы привыкли к тому, что о проблемах национальной безопасности, о связанных с ней технологических проблемах, говорят представители технических наук. В связи с вопросами обеспечения национальной безопасности Российской Федерации я хотел бы остановиться на проблематике, которая связана с общественными науками, и хотел бы поговорить о двух аспектах – об экономическом и военном, – на мой взгляд, чрезвычайно связанных.

Присоединяюсь к тому, что сказали академики А.А. Дынкин и В.В. Наумкин. При этом я хотел бы отметить, что специфика мироустройства, в котором мы живем, и в котором нам предстоит жить в ближайшие годы, связана, прежде всего, с тем, что одновременно нарастают две диалектически взаимосвязанные тенденции, с одной стороны, дополняющие друг друга, а, с другой стороны, вступающие во все в большее противоречие.

Растет экономическая взаимозависимость. Причем, на мой взгляд, растет, несмотря на все ограничения, которые пытаются налагать некоторые группы стран на развитие международной торговли, несмотря на санкции и другие меры давления на конкурентов и партнеров.

Взаимозависимость, на мой взгляд, очень показательна в том, что происходит в системе экономических связей между Россией и Евросоюзом (табл. 1). Мы видим, что после украинского кризиса последовал очень существенный спад торговли между Россией и ЕС. (Здесь я хотел бы отметить, что здесь надо делать поправку на изменение курса рубля и евро, рубля и доллара, – все данные даны в долларах США по статистике Таможенной федеральной службы России).

Таблица 1

Динамика торговли России и ЕС

Год	Товарооборот	Экспорт России	Экспорт ЕС
2013	417,6	283,4	134,2
2014	377,3	258,8	118,5
2015	235,6	165,5	70,1
2016	200,5	130,6	69,8
2017	246,4	159,5	86,9
Январь-Август 2018	193,1	134	59,2

Источник: Федеральная таможенная служба РФ

¹ Директор ИМЭМО РАН, член-корреспондент РАН

Несмотря на этот спад, на глубокие системные противоречия, на режим санкций, наложенных Евросоюзом на Российскую Федерацию, и ответных мер Российской Федерации, несмотря на американские санкции, которые имеют экстерриториальное значение и применяются за пределами собственно американской юрисдикции и часто ограничивают возможности Евросоюза по взаимодействию с нами, торговля России и ЕС растет.

Но что происходит одновременно? Одновременно мы видим, что США выходят из Договора о ракетах меньшей и средней дальности. Это означает, что два вероятных региона размещения соответствующих классов наземных ракет – европейский и азиатско-тихоокеанский.

Американские партнеры говорят нам, что, скорее всего, это будет азиатско-тихоокеанский регион, и возможное размещение ракет меньшей и средней дальности направлено против Китая. Но у нас нет оснований считать, что не будет соответствующего размещения в Европе. Это качественно изменит военно-политическую ситуацию в Европе, окажет непосредственное влияние на состояние национальной безопасности Российской Федерации.

Одновременно мы видим наращивание военных расходов всех стран НАТО, – не только США, как было раньше, но и европейских членов НАТО.

Хотел бы отметить, что, например, военные расходы Великобритании сейчас составляют около 60 млрд. долл. и более чем на 10 млрд. превышают военные расходы России. Военные расходы Франции и Германии составляют около 40 млрд. долл., то есть немногим меньше, чем военные расходы России.

Во всех стратегических документах североатлантического альянса Россия называется в качестве непосредственного главного противника. Но одновременно постепенно происходит развитие торгово-экономических связей и возвращение европейских инвесторов на российский рынок.

То же самое мы видим в системе отношений между США и Китаем (табл. 2). С одной стороны, двухсторонняя торговля. Это торговля только товарами, без торговли услугами и без Гонконга. Здесь не учитываются данные по Гонконгу, потому что американцы привыкли считать отдельно, китайцы, кстати, тоже.

Таблица 2

Динамика торговли США и КНР (товары)

Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Экспорт США	69,5 (6.6%)	91,8 (7.2%)	103,8 (7%)	110,6 (7.2%)	121,7	123,6	116	115,7	130,3
Экспорт КНР	309,5 (19.3%)	382,9 (19.5%)	417,3 (18.4%)	444,4 (19%)	440,4	468,4	483,2	462,8	505,6
Торговый оборот США и КНР	379	474,7	521,1	555	562,1	592	599,2	578,5	636

Источник: The World Integrated Trade Solution, World Bank
<http://wits.worldbank.org>

Источник: United States Census Bureau <http://www.census.gov>
 В долларах США по текущему курсу 2017 г.

Несмотря на то, что Соединенные Штаты вводят различные меры давления на китайские компании и оказывают достаточное серьезное влияние на их развитие, мы видим, что, несмотря на всю риторику Дональда Трампа, торговля между США и КНР продолжает расти.

Если мы посмотрим на показатели этого года, то они превышают все аналогичные показатели прошлого года. Если посмотрим еще на торговлю услугами, то это еще 81 миллиард долларов дополнительно в прошлом году.

Нужно еще напомнить про прямые иностранные инвестиции, которые работают на китайском рынке, американские, и китайские, которые работают на американском рынке. И еще огромные китайские средства, которые работают на фондовых биржах Соединенных Штатов, и одновременно американские на Шанхайской и Гонконгской биржах.

Но что происходит одновременно? Одновременно происходит рост военной напряженности, военно-политической напряженности в отношениях Соединенных Штатов и Китая. Во всех стратегических документах американских, в Стратегии национальной безопасности, в Стратегии национальной обороны – это пентагоновский документ, в Обзоре ядерной политики в качестве важнейших противников Соединенных Штатов, военных противников открыто называется Китайская Народная Республика.

Посмотрим на динамику военных расходов. Вот динамика военных расходов США, это непосредственно военные расходы, без учета невоенных расходов Пентагона. Динамика расходов военных КНР. Здесь нет такой транспарентности, но есть данные, например, Стокгольмского института проблем мира. И военные расходы России, Индии. Как видите, величины уже несопоставимые.

Мы сталкиваемся с угрозой гонки вооружений в Азии. Причем это угроза, которая будет оказывать влияние на внешнюю военную безопасность Российской Федерации.

Ключевой момент в том, что это распад систем контроля над вооружениями. Здесь, на мой взгляд, ключевое значение, по-прежнему, имеет проблематика стратегических наступательных вооружений. У нас пока есть Договор о стратегических наступательных вооружениях. Он истекает в 2021 году. Каковы перспективы продления в 2021 году этого договора на 5 лет? Это можно сделать без ратификации Конгресса. Это нам даст хотя бы какую-то опору с точки зрения сохранения системы контроля над вооружениями.

Что может прийти на смену действующему Договору о стратегических наступательных вооружениях? Ответа нет. Нет ни у нас, ни у американских специалистов. Работы целенаправленной, планомерной здесь нет с обеих сторон. Есть идеи – идеи наших специалистов, идеи американских. Но нужна политическая воля. Ее пока с американской стороны не видно, хотя российская сторона выражала готовность продолжать.

Как повлияют новые факторы на развитие систем контроля над стратегическими и наступательными вооружениями? Прежде всего, это программа развития стратегических и наступательных вооружений других стран. Вот будет ли когда-нибудь создан механизм многостороннего контроля

над стратегическими и наступательными вооружениями? И какую роль будет играть Китайская Народная Республика? Как будет осуществляться обеспечение стратегической стабильности? Вопросы открытые.

Еще одна проблема в том, что касается проблематики контроля над вооружениями, – это развитие систем противоракетной обороны. Вы знаете, в Соединенных Штатах вышли из Договора по ПРО в 2002 году. И здесь было два подхода. Первый подход администрации Буша-младшего – это проект глобальной стратегической ПРО с позиционными районами на территории США, в Азиатско-Тихоокеанском регионе и в Европе, а также глобальных систем предупреждения о ракетном нападении.

Здесь американцы столкнулись с очень серьезными финансовыми и технологическими ограничениями. Администрация Обама перешла к более мягкому, так называемому поэтапному, адаптивному подходу, что с возникновением угрозы будет разворачиваться система противоракетной обороны, направленная, прежде всего, против ракет средней и меньшей дальности.

Нас долго уверяли в том, что эта система будет создаваться в Европе против так называемой иранской угрозы. А в Азиатско-Тихоокеанском регионе – против угрозы КНДР. Сейчас уже никто не отрицает того, что следующий этап развития систем противоракетной обороны Соединенных Штатов в Европе и в Азиатско-Тихоокеанском регионе будет адресован, прежде всего, российской и в еще большей степени китайской стороне.

Конечно, технологически пока развитие систем ПРО США ограничено. Но финансовые возможности США в этой сфере растут. Мы видели рост американских военных расходов, там уже заложены перспективные разработки в этой сфере на бюджет следующего года. Но пока позиция администрации Трампа по системам противоракетной обороны не обозначена.

Не опубликован еще обзор по проблемам противоракетной обороны. И дважды он пока откладывался. Видимо, его публикация будет тесно связана с решением вопроса о выходе Соединенных Штатов из Договора о ракетах средней и меньшей дальности или с перспективами его адаптации. Это весьма связанные проблемы.

Проблема Договора о ракетах средней и меньшей дальности. Договор был основан на принципах абсолютного нуля, как вы знаете. Вот Соединенные Штаты заявили совсем недавно о намерении выйти из Договора.

Возникает несколько вопросов, на которые мы ищем ответы, специалисты нашего института, других институтов и отделения глобальных проблем и международных отношений. Это возможна ли модификация Договора о ракетах средней и меньшей дальности? Может ли он стать многосторонним? Например, если учесть ядерные силы Китая, то до 50% ядерных сил Китая составляют ракеты средней и меньшей дальности. Что, кстати, дает основание американцам говорить о том, что системы морского базирования, воздушного базирования должны быть ими дополнены системами наземного базирования соответствующих классов в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Но ведь есть еще Великобритания, Франции, Индия, Пакистан, Иран, КНДР, Израиль – как быть с их ракетами средней и меньшей дальности? Тоже вопрос открытый.

Что будет дальше с точки зрения развития военно-политической и политической ситуации в Европе? Мы помним, к чему привел кризис евrorакет в конце 70-х – начале 80-х годов, к какой напряженности в отношениях между СССР и странами Западной Европы.

Сейчас эта угроза усугубляется. Это происходит потому, что в условиях, когда членами НАТО стали страны Балтии и другие страны Восточной Европы. Поэтому перспектива размещения ракет средней и меньшей дальности в этих странах будет приводить к значительно большей угрозе национальной безопасности Российской Федерации, чем это было даже в 70-е – 80-е годы, когда эта угроза едва не привела к критической ситуации в советско-американских отношениях, а также в отношениях между СССР и странами НАТО.

Здесь, конечно, принципиальный вопрос: что будет дальше не только с ситуацией в Европе, как это повлияет на развитие экономических связей России и ЕС, на внутривосточную ситуацию в Европе? Мы стоим на пороге серьезного системного кризиса, который здесь может возникнуть.

Дальше. Что изменит выход США из Договора о ракетах средней и меньшей дальности с точки зрения режима нераспространения ядерного оружия и ракетных технологий?

Еще ряд факторов оказывают влияние на стратегическую стабильность и национальную безопасность Российской Федерации. Это, прежде всего, развитие высокоточных систем вооружений, гиперзвуковых систем, стратегических систем неядерного оснащения.

Если по первым и вторым видам систем мы показываем достаточно неплохие результаты (все вы видели презентацию, которую показывал наш президент), то по стратегическим неядерным системам – это очень большая проблема. Это связано с тем, что с точки зрения систем обнаружения, при пусках такого рода ракет очень трудно определить по баллистическим траекториям, что это летит, в ядерном или неядерном оснащении, куда летит.

В общем, здесь мы просто стоим на пороге совершеннейшего хаоса с точки зрения перспектив сохранения Договора о стратегических наступательных вооружениях СНВ-3.

Развитие кибервооружений – это тоже очень серьезный вызов стратегической стабильности. Развитие средств радиоэлектронной борьбы. Все это опирается на пучки технологий не только военных, но и гражданских и на соответствующие военные и гражданские разработки, которые переносятся в военную сферу, создают перспективы для создания новых видов вооружений, военной техники, новых угроз и проблем с точки зрения национальной безопасности Российской Федерации.

И еще один вызов, с которым мы столкнемся в ближайшей перспективе, – это угроза милитаризации космоса. Здесь нет международно-правовых основ предотвращения милитаризации космоса. Есть Договор о космосе 1967-го

года, но он не запрещает размещение в космическом пространстве каких-либо видов вооружений, за исключением оружия массового уничтожения.

В 2004 году Россия заявила об одностороннем отказе размещать вооружение в космосе. Но наши американские партнеры не выражают готовности продолжать обсуждать эту тематику.

Те угрозы в военной сфере, о которых было сказано, они все взаимосвязаны системно, их нужно рассматривать в комплексе. Многие из них связаны с проблемами экономического, научно-технологического развития. И мы должны понимать, что ответы на них не могут быть получены без использования методов экономического анализа, военно-политического анализа, изучения политико-психологических процессов, идеологических процессов, в их комплексе, в их взаимодействии, в их взаимосвязи.

Б.Н. Порфирьев¹

Экономическое измерение климатического вызова устойчивому развитию России

Глобальный характер и значимость проблемы климатических изменений и их последствий для долгосрочного устойчивого социально-экономического развития общества дают все основания для ее отнесения к категории, так называемых, больших вызовов. Поиск эффективных ответов на эти вызовы определен Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации на ближайшие 10-15 лет [1].

Поскольку эффективность суть экономическая категория, постольку комплексное исследование путей решения указанной сложной задачи требует активного участия экономической науки, ее критериев и инструментария. Это, в свою очередь, предполагает необходимость, во-первых, определения места проблемы климатических изменений и их последствий для долгосрочного устойчивого социально-экономического развития общества в ряду других глобальных вызовов с учетом специфики стран и регионов мира, включая Россию; их значимость для экономики и национальной безопасности (что образно можно охарактеризовать как определение «цены вопроса»). Во-вторых, оценки возможностей (финансовых, научно-технологических, кадровых ресурсов) экономики по снижению климатических рисков социально-экономического развития в контексте и с учетом их места в ряду приоритетов развития общества (определение «цены ответа» на основе критерия «затраты – риски – результаты»).

Актуальность экономического измерения климатической проблемы и эффективность ее решения в рамках стратегии низкоуглеродного развития

Повышенный интерес к экономическому измерению проблемы глобальных климатических изменений обусловлен тем, что, несмотря на подавляющую поддержку государствами мира целей Парижского соглашения по климату, все крупные развитые экономики далеки от выполнения его целей. Это не только США, нынешнее правительство которых официально отказалось от выполнения указанного соглашения, и вследствие этого темпы сокращения техногенных выбросов парниковых газов там, по оценкам на июнь 2018 г., вдвое отставали от обязательств, принятых в свое время прежней администрацией.

В отличие от предшествующих лет, в 2015-2017 гг. мировые выбросы CO₂ не снижались, более того, в 2017 г. они увеличились на 1,5% (по сравнению с предыдущим годом), причем не только в «угольных» Китае и Индии, но и в «зеленой» Европе; в том числе в странах, объявивших «борьбу с климатическими изменениями» национальным приоритетом (Германия, Франция); а также в Австралии, Канаде и Японии, смягчивших в последнее

¹ Директор Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, академик РАН

время свою позицию по этому вопросу. Что касается выбросов CO₂ в секторе энергетики – основного источника его эмиссий – они росли практически постоянно с 2000 г. (исключая кризисный 2009 г.), выйдя на плато в 2014-2016 г., и вновь увеличившись в 2017 г. В 2018 г., по прогнозам, ожидается рост эмиссий еще на 2,7% – максимальный темп за последние семь лет, прежде всего в связи с замедлением темпов замещения угольной генерации газовой в США (рис. 1) [2, p. 7; 3].

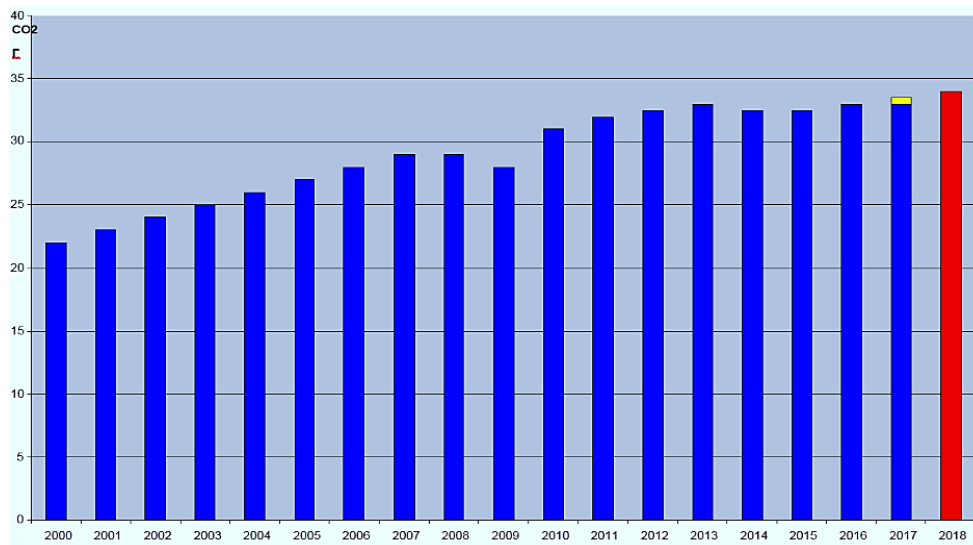


Рис. 1 Динамика выбросов парниковых газов мировой энергетикой (данные МЭА)

Примечание: желтый столбец – прирост в 2017 г.

Многие мировые и отечественные политики и эксперты, своего рода «климатический мейнстрим», связывают это не только (и даже не столько) со значительными издержками и технологическими трудностями такого перехода, которые на самом деле велики. Едва ли не большую роль, по их мнению, играют, во-первых, недостаточная осведомленность (в том числе, из-за сокрытия негативной информации, прежде всего, энергетическими компаниями) – и, в связи с этим, самоуспокоенность – значительной части населения в отношении опасных последствий изменения климата. И, главное, по их мнению – оппортунистическое поведение ряда государств и указанных компаний, которые исключительно в собственных интересах наращивают производство и потребление углеводородов, включая уголь – главного источника техногенных выбросов парниковых газов, и не спешат с переходом к низкоуглеродной экономике, который рассматривается «климатическим мейнстримом» как ключ к решению климатической проблемы. Не случайно, другое название этой будущей экономики – «новая климатическая экономика».

Парадигма низкоуглеродной экономики исходит из сугубо антропогенного генезиса проблемы климатических изменений, связанных, прежде всего, с глобальным потеплением, последствия которого считаются главной угрозой безопасности населения и экономики в обозримом будущем.

В качестве стратегического решения этой проблемы предлагается борьба или война (причем это не фигура речи, а терминология официальных международных документов) с изменениями климата; способа реализации решения – переход к середине текущего века к новой климатической экономике, содержанием которой является набор действий и технологий, направленных на максимальное сокращение выпуска и импорта продукции и услуг, производство которых связано с использованием ископаемого топлива и, соответственно, значительными выбросами углерода (отсюда и термин «низкоуглеродная экономика»).

Экономическим механизмом, обеспечивающим реализацию этих действий, определено введение цены на упомянутые выбросы, прежде всего в виде так называемого углеродного налога; ключевым индикатором результативности – максимальное снижение абсолютных объемов техногенных выбросов парниковых газов. При этом главным критерием эффективности предлагаемого стратегического решения проблемы климатических изменений считается обеспечение стабилизации климата – непревышение (по сравнению с доиндустриальной эпохой) к концу текущего века роста глобальной температуры на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, как это определено новым докладом МГЭИК-2018 [4] (до сих в качестве такого порога рассматривался показатель в $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, который, был принят У. Нордхаусом, Нобелевским лауреатом по экономике в 2018 г., в основу разработки своей экономико-климатической модели и расчетов по ней [5]).

Что касается эффективности предлагаемого «климатическим мейнстримом» решения в виде парадигмы низкоуглеродной экономики, об этом, очевидно, можно судить, ответив на два принципиальных вопроса. Обеспечивает ли переход к низкоуглеродной экономике «стабилизацию» климата? Обеспечивает ли решение задачи «стабилизации» климата минимизацию риска для качества жизни, прежде всего здоровья, и уровня жизни людей, и устойчивого роста экономики? В обоих случаях ответы отрицательные. Так, согласно расчетам экспертов ЮНЕП, даже полное выполнение всеми странами взятых обязательств на себя в рамках Парижского соглашения по сокращению эмиссий парниковых газов, обеспечит лишь 1/3 объема сокращений, необходимых для непревышения в 2100 г. вышеупомянутого показателя $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и всего 1/5 объема таких сокращений – для непревышения $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2, 6, 7] (рис. 2).

Поэтому, помимо сокращения выбросов, на котором концентрируется парадигма низкоуглеродной экономики, как минимум, не менее необходимы, как справедливо подчеркивается в Парижском соглашении, адаптация экономики к климатическим изменениям, а также поглощение из атмосферы уже накопленного там CO_2 (прежде всего, лесами).

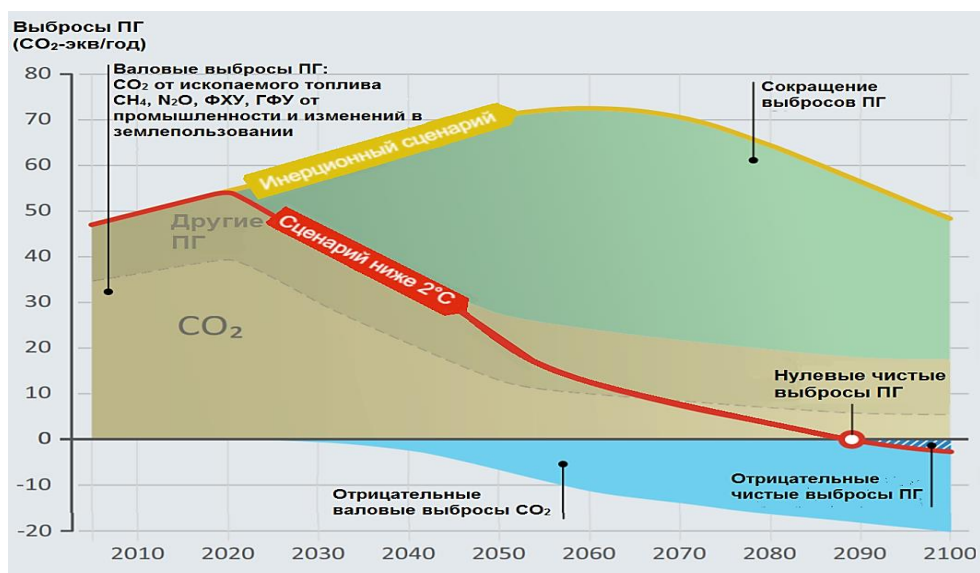


Рис. 2. Недостаточность обязательств Парижского соглашения (зеленая область)

Расчеты самих специалистов МГЭИК, показывают, что до конца нынешнего века потребуются извлечь 810 млрд. т CO₂ или примерно 10 млрд. т в среднем год [4, 8]. При этом ограниченность выбора и дороговизна имеющихся технологий извлечения CO₂ из атмосферы существенно ограничивает эффективность их применения и отодвигает перспективу достижения 2 °C порога за пределы нынешнего столетия, не говоря уже о 1,5 °C отметке, достижение которой, по некоторым оценкам, обойдется мировой экономике в 1,5 раза дороже.

Что касается другого вопроса, решение проблемы климатических изменений является необходимым – прежде всего, в долгосрочной и отдаленной перспективе – но далеко не достаточным и не главным условием минимизации риска для качества жизни, прежде всего здоровья, и уровня жизни людей, устойчивого роста экономики. Даже в структуре экологических рисков, к группе которых относятся изменения климата и их последствия, последние не являются приоритетными для качества и уровня жизни людей, в частности если судить по такому важному критерию как ущерб здоровью людей. Прежде всего, от загрязненного воздуха, которым дышит 95% мирового населения – т.е. практически столько же людей, сколько испытывают воздействие климатических изменений.

Наши оценки показывают, что в 2010 г. глобальный экономический ущерб от загрязнения воздуха вредными веществами (прежде всего, тем же углеродом, в виде взвешенных частиц PM_{2.5}) на порядок превышал таковой от последствий изменений климата (соответственно, примерно 5% мирового ВВП против 0,5% мирового ВВП). Еще разительнее контраст социальных

потерь: в мире загрязнение атмосферного воздуха (исключая воздух внутри помещений) является причиной преждевременной смерти около 6 млн. человек в среднем в год против менее 28 тыс. погибших также в среднем в год в результате гидрометеорологических и климатических чрезвычайных ситуаций (разница в 200 с лишним раз!).

Примерно такие же соотношения характерны и для крупных экономик мира, включая российскую (оценки автора по: [9, р. 12, 31; 10, р. 21; 11; 12; 13].

В более широком плане климатические изменения и связанные с ними последствия – только часть общей картины рисков для жизни и здоровья людей, росту экономики. Это доказывают принятые мировым сообществом цели устойчивого развития, которые, помимо «мер по борьбе с изменением климата и его последствиями», включают еще 16 глобальных целей устойчивого развития, охватывающих все составляющие (экономическую, социальную и экологическую) устойчивого развития. В том числе, такие общемировые ценности как ликвидация бедности и голода, обеспечение здорового образа жизни, качественного образования, доступа всех к источникам энергии; снижение уровня неравенства (гендерного, внутри стран и между ними) и др., включая «содействие неуклонному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работы для всех».

В связи с этим постановка задачи «стабилизации» климата не может считаться корректной, а ее решение – реалистичным и эффективным в отрыве от более приоритетных целей устойчивого развития. Таких, которые, во-первых, превосходят указанную задачу по значимости, по крайней мере, в обозримой перспективе – минимизация голода, бедности, болезней, доступность чистой воды и т.д. Это четко зафиксировано в Парижском соглашении, согласно которому решение проблемы изменений климата и их последствий осуществляется *«в контексте обеспечения устойчивого развития и искоренения бедности»* (курсив авт.). Во-вторых, цели, достижение которых является необходимым условием и/или обеспечивает ресурсы для решения указанной проблемы, как, впрочем, и других проблем развития – прежде всего, экономический рост.

Контуры эффективной стратегии снижения климатических рисков устойчивого социально-экономического развития России

Эффективная стратегия не должна ставить задачу «стабилизации» климата, не говоря уже о войне с изменением климатом, в качестве приоритетной цели развития, полагая производными от нее другие цели глобального и национального развития, которые должны как бы подтягиваться (подкреплять) достижение упомянутой приоритетной цели. Такой подход характерен для концепции «новой климатической экономики» и доклада МГЭИК-2018, который, ставя, во главу угла не превышение 1,5 °C уровня глобального потепления до конца текущего столетия, превращает его в целевую функцию, задающую остальные параметры развития экономики. Прежде всего, ее энергетического сектора, включая электроэнергетику, в

структуре которой к 2050 г. применительно к миру в целом предусматривается увеличить долю возобновляемых источников до 70%, снизить удельный вес природного газа до 11%, угля – до 1,5% [4].

Согласно расчетам, выполненным в Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН А.А. Широковым и А.Ю. Колпаковым, при реализации такого сценария в России в период 2017-2050 г. по сравнению с базовым сценарием экономического развития среднегодовые темпы прироста ВВП снижаются на 0,4 п.п. или на 0,26 п.п. – при частичной компенсации за счет роста вклада возобновляемых источников и электромобилей. При этом страна к 2050 г. недосчитывается 8% ВВП. При менее жестком сценарии (доля низкоуглеродных энергоресурсов (ВИЭ и атомная энергия) – 70%, доля угля – 4%, природного газа – 24%; доля электромобилей – 50% от легкового парка (в сфере грузового транспорта сохраняется доминирование нефтетоплива) на том же временном горизонте соответствующие показатели составляют 0,2 п.п. и 0,13 п.п.; «недополучение» суммарного ВВП к 2050 г. – 5% (рис. 3). Оба сценария вряд ли приемлемы для России, особенно учитывая нынешние и ожидаемые в ближайшем будущем низкие темпы экономического роста.

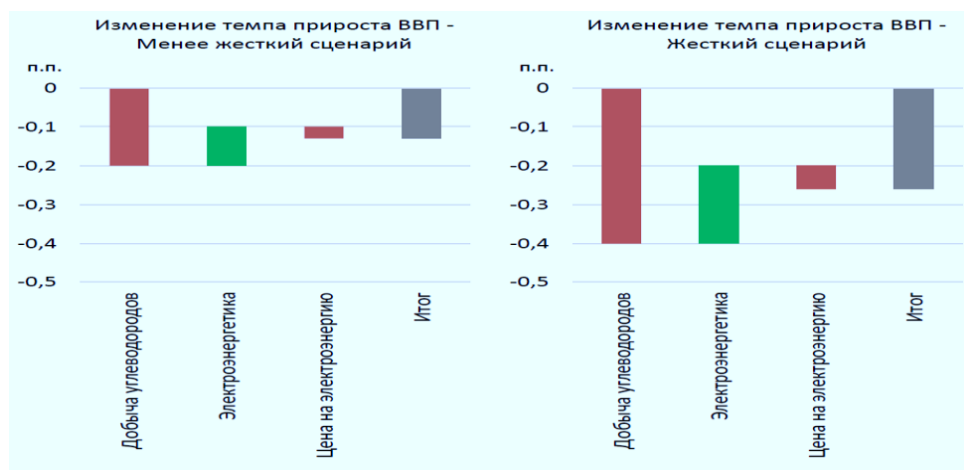


Рис. 3. Последствия реализации сценария МГЭИК-2018 для темпов роста экономики России в 2018-2050 гг.

Эффективная политика в отношении проблемы изменений климата и ее последствий подразумевает, во-первых, интеграцию адаптации населения и экономики к изменениям климата и их последствиям; смягчение накопленных эффектов и снижение текущего и будущего техногенного воздействия на климатообразующие факторы окружающей среды (атмосферу, гидросферу, биоту) для обеспечения условий сохранения (улучшения) качества и уровня жизни людей. Именно такая установка содержится в Парижском соглашении, которое уравнивает значимость адаптации и снижения техногенных выбросов CO₂, и обязывает государства разрабатывать и исполнять национальные планы адаптации. Ее роль нужно особо подчеркнуть, учитывая

сохраняющуюся недооценку этой составляющей политики, а также то обстоятельство, даже максимальное снижение техногенных выбросов и поглощение уже накопленных в атмосфере объемов CO₂ не обеспечивает и в принципе не может обеспечить гарантии защиты от последствий изменений климата в виде опасных природных явлений и бедствий – природная (естественная) изменчивость климата сохраняется в любом случае, что означает необходимость адаптации.

Во-вторых, эффективная политика в отношении проблемы изменений климата и ее последствий подразумевает встраивание (интеграцию) решения проблемы в политику устойчивого развития, приоритеты которой корреспондируются с обоснованными ООН 17 глобальными целями устойчивого развития, в структуре которых климатические изменения и их последствия занимают далеко не первое место. Причины понятны, учитывая существенно большую неопределенность последствий изменений климата для здоровья населения и экономики, что существенно увеличивает риски и ограничивает интерес инвесторов и других экономических субъектов к проектам и действиям по смягчению указанных последствий. Особенно, в сравнении с другими проблемами национальной безопасности и социально-экономического развития, которые воспринимаются и оцениваются политическим, деловым сообществом и населением как остроактуальные и приоритетные, в том числе: проблемы чистой воды и воздуха, промышленных и коммунальных отходов, и др., которые, как и климатические, относятся к экологическому блоку целей устойчивого развития.

На наш взгляд, основная причина нынешнего торможения решения проблем климатических изменений и их последствий связана со ставкой практически ва-банк на скорейший переход к низкоуглеродной экономике, отдавая первенство в снижении стратегических рисков социально-экономического развития решению проблемы сокращения техногенных выбросов CO₂. При этом отодвигаются в тень меры адаптации и поглощения CO₂, и, главное, другие цели устойчивого развития, значимость которых превосходят проблему снижения техногенных выбросов парниковых газов, по крайней мере, в обозримой перспективе, и которые включают актуальные для мира и России задачи снижения неравенства, минимизации бедности, укрепление здоровья и увеличение продолжительности жизни людей, в том числе за счет улучшения экологии, и др., в том числе устойчивый экономический рост, являющийся генератором средств для решения этих задач, а также проблемы снижения техногенных выбросов CO₂.

Но как не может быть цифровой экономики без экономики, так и трудно вообразим ускоренный переход к низкоуглеродной или «новой климатической экономики» без экономического роста! Необходимо изменить диспозицию в рамках стратегии устойчивого развития, выдвинув в авангард приоритетные цели социально-экономической политики, встроить в процесс и механизм их достижения комплекс мер по решению проблемы изменений климата, который включает две взаимосвязанные группы (или их комбинации) институциональных, экономических и технологических мероприятий.

Группа стимулирующих мер направлена на поощрение экономического роста на основе повышения эффективности производства, используя наилучшие доступные технологии ресурсопользования, которые одновременно выступают в качестве встроенного «фильтра» допустимого техногенного воздействия на окружающую среду и обеспечения ее нормативного качества. Ускорение экономического роста – единственный источник увеличения доходов, без которого невозможны достижение национальных целей России, решение любых задач, включая климатические проблемы (рис. 4, 5).

- **Приоритеты (секторы экономики):** ТЭК, транспорт, строительство, ЖКХ
- **Технологические меры** (примеры):
 - модернизация основных производств на основе НДТ (рост производительности, качества и конкурентоспособности продукции) (потребности в инвестициях ~1 трлн. руб./год (Минпромторг))
 - развитие атомной энергетики и атомно-промышленного комплекса
- **Институциональные меры:**
 - реальный сектор – $\Delta Y/\Delta E_C$ vs $\Delta E_C/\Delta Y$ (особенно ТЭК и энергоемкие производства) = относительное vs абсолютное сокращение эмиссий (примеры России 1990-х и Германии 2000-х): РФ: \$1,31 ВВП/кг CO₂ (1990) - \$1,18 (1998) → \$2,34 (2014) (ОЭСР ~ США = \$3,1 ВВП/кг CO₂)
 - строительство и ЖКХ – ΔE и ΔE_C → min – «зеленые стандарты»
- **В политико-экономическом, стратегическом плане** - использование категории карбоноэффективности экономики для принципиальной корректировки показателя национального вклада в снижение выбросов ПГ (Китай и Индия)

Рис. 4. Эффективный ответ на климатический вызов для России: *стимулирование экономического роста на основе модернизации с использованием наилучших доступных технологий (НДТ)*

- **Приоритеты (факторы загрязнения воздуха):** сокращение до (нормативного минимума) выбросов особо вредных и опасных для здоровья человека веществ, вкл. содержащие углерод, или супер-загрязнителей (PM, CH₄, NO_x, CFC, HFC):
 - Прямые угрозы жизни и здоровью (табл.)
 - Национальные vs международные программы
 - Более короткий срок реализации = меньше риска, лучше окупаемость (= запрет Pb в автомобильном топливе – \$2,5 трлн./год)
 - Вклад в парниковый эффект ~ 50%
 - CH₄ – более короткий срок реализации эффекта сокращения выбросов, окупаемость + выигрыш во времени и сбережение средств для смягчения проблемы неопасного для здоровья, но климатически «рискованного» CO₂
- **Технологические меры (НДТ) – ресурсосбережение и минимизация выбросов, экономика замкнутого цикла**
- **Институциональные меры – жесткие нормативы выбросов (одновременно стимул для НДТ) в сочетании с налоговыми льготами и иными экономическими стимулами использования НДТ производителями ≠ углеродный налог (бремя до 1 трлн. руб. до 2020)**

Рис. 5. Эффективный ответ на климатический вызов для России: *активная экологическая политика с акцентом на меры ограничения загрязнения воздуха*

Указанная группа мер должна обеспечить экономический рост при условии ограничения совокупных издержек производства, что подразумевает эффективное использование трудовых, природных и материально-технических ресурсов; а эффективное природопользование, в свою очередь, означает снижение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе техногенных эмиссий в атмосферу, что не только способствует сохранению качества воздуха, но и снижению выбросов CO₂. *Группа ограничительных и защитных мер* ориентирована на снижение рисков вредного (опасного) воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и население (прежде всего выбросов загрязняющих веществ, в том числе содержащих углерод, в атмосферу); а также на адаптацию и защиту здоровья людей и экосистем от указанного воздействия и его последствий, включая изменения климата. Актуальность этой группы мер обусловлена их целевой направленностью на решение экологических проблем и прямой связью с решением климатической проблемы.

Среди *стимулирующих мер* особого внимания заслуживают институциональные меры, которые способствуют структурно-технологическим изменениям и модернизации российской экономики, обеспечивающим переход к более эффективным и экологичным, и, в то же время, менее углеродоемким, видам топлива – с угля на природный газ, а также атомную и возобновляемую энергетику; снижение доли дизельного топлива и рост удельного веса газомоторного топлива, и гибридных двигателей, использующих высококачественный бензин и электричество.

В сфере энергетики особо подчеркнем значимость для России перечисленных преимуществ атомной энергетики как гаранта устойчивости национальной энергосистемы при переходе на экологически и климатически более устойчивую модель функционирования, учитывая продолжительность и капиталоемкость такого перехода. Это доказывает, например, опыт Германии, которая в течение 10 лет инвестировала в развитие ВИЭ и консервирование АЭС более 1 трлн. долл., добившись 30%-ой доли ВИЭ в производстве электроэнергии [14]. Однако и в 2017 г. более половины ее производилось на углеводородном топливе, в том числе почти 2/5 – угле и мазуте. Кроме того, значимость отечественной атомной энергетики нужно подчеркнуть в связи с ее конкурентоспособностью на мировом рынке и органической принадлежностью к атомно-промышленному комплексу, являющемуся одним из наиболее высокотехнологичных и стратегически важных секторов экономики.

Здесь уместен пример Китая, ссылаясь на который большинство аналитиков – рассуждая о перспективах развития низкоуглеродных источников энергии в мире – концентрируют внимание на лидерстве КНР исключительно в сфере ветряной и солнечной генерации, оставляя в тени темпы развития его атомной энергетики.

Между тем, в 2017 г. из четырех введенных в строй в мире новых ядерных реакторов три установлены в Китае, и он же держит мировое первенство по

числу строящихся реакторов и по темпам инноваций, представив в июне 2018 г. два новых класса дизайна ядерных реакторов [15].

Это обстоятельство, также, как и то, что Китай, снижая вклад угольной генерации в производство энергии, не отказывается от сооружения новых, более производительных и экологических угольных ТЭС, обеспечивающих устойчивость функционирования энергетики и в целом экономического роста, лишний раз доказывает приоритет не климатической, но экологической и экономической, а также (в случае АЭС) и военно-стратегической мотивации так называемого энергетического перехода. Собственно, климатический фактор, очевидно, используется и будет востребован как инструмент политического, точнее политико-экономического, торга или прессинга, тогда как сама глобальная климатическая ситуация изменится слабо: вышеупомянутый Рубикон 2С к концу текущего столетия будет перейден.

Для России устойчивая динамика развития атомной энергетики имеет более высокий приоритет, чем для Китая, а также США, Франция, Япония, которые располагают более диверсифицированной базой генерации высоких технологий и инноваций.

На макроэкономическом роль экономического стимула, очевидно, не могут выполнять показатели (нормативы) абсолютного сокращения техногенных эмиссий CO₂ или снижения их объема в расчете на единицу ВВП (карбонемкость ВВП), которые являются целевыми в модели низкоуглеродного развития, отдающей безусловный приоритет максимальному снижению выбросов CO₂. Напротив, обратный целевой показатель – производство ВВП в расчете на единицу выбросов CO₂ который использующие его уже длительное время статистики ОЭСР именуют карбонопродуктивностью (*carbon productivity*), но, с нашей точки зрения, предпочтительнее термин «карбонэффективность экономики» – стимулирует производителя на рост выпуска с учетом не превышения заданного норматива по указанным выбросам.

Кроме того, категорию карбонэффективности экономики было бы целесообразно использовать для принципиальной корректировки показателя национального вклада в снижение выбросов парниковых газов в рамках выполнения Парижского соглашения, пользуясь паузой в его ратификации Россией. Как известно, в ряде крупных развивающихся стран с более динамичной экономикой (Китае, Индии) снижение выбросов CO₂ жестко увязывается с темпами роста ВВП и составляет, соответственно, 60-65% и 30-35% в расчете на единицу ВВП к 2030 г. по сравнению с 2005 г.

Таким образом, целевым показателем выступает снижение величины, обратной карбонэффективности – углеродоемкости ВВП. Это вполне оправдано, учитывая, что для экономик указанных стран, в отличие от российской, в среднесрочной перспективе актуально не ускорение, а поддержка устойчивости темпов роста, которые в настоящее время в 3,7-3,8 раза превышают российский показатель.

В самой же России национальный вклад определен через сокращение объемов выбросов CO₂ от уровня выбросов 1990 г., которое к 2030 г. должно

составить 70-75% (при должном учете вклада лесов в указанное сокращение). Согласно расчетам ученых ИНП РАН, при темпах роста ВВП, сопоставимых с темпами роста мировой экономики, объем указанных выбросов (без учета их поглощения лесами) уже после 2025 г. начнет превышать упомянутый 75% уровень [16]. Это значительно повышает риск вынужденного следования экономики России инерционному сценарию развития, означая сдерживание экономического роста со всеми вытекающими последствиями. Как доказал опыт экономического кризиса 1990-х годов, при отсутствии динамики роста, тем более падении ВВП, значительное сокращение объемов выбросов не обеспечивает экологической устойчивости развития, не говоря уже о серьезном ухудшении качества и уровня жизни, и состояния национальной экономики, что нашло отражение в снижении ее карбоноэффективности в те годы: с 1,33 долл./кг CO₂-экв. в 1990 г. до 1,18 долл./кг в 1998 г. [17, р. 33].

Среди *ограничительных и защитных мер*, прежде всего, выделяются жесткие нормативы выбросов вредных для здоровья человека и экосистем веществ, включая содержащие углерод взвешенные частицы, представляющие главную опасность для здоровья и жизни людей; не менее жесткие меры контроля соблюдения указанных нормативов основными хозяйствующими субъектами. При этом экономически и экологически наиболее эффективной представляется концентрация усилий на значительном сокращении (до нормативного минимума) выбросов особо вредных и опасных для здоровья человека и комфортности городской среды веществ, включая содержащие углерод, или супер-загрязнителей. Такое название обусловлено их высоким канцерогенным (сажа или черный углерод), токсичным (оксиды азота) эффектами воздействия, а также парниковым эффектом в расчете на единицу выбросов (метан), который на порядок и более превосходит таковой от выбросов CO₂ (которые, в свою очередь, сохраняются в атмосфере в десятки, а то и сотни раз дольше сажи или метана).

Помимо выгод от снижения прямых угроз жизни и здоровью людей, приоритетная роль снижения выбросов супер-загрязнителей обусловлена тем, что, в отличие от проблемы эмиссий CO₂ – необходимым условием эффективного решения которой являются скоординированные усилия если не всего мирового сообщества, то, как минимум, стран «большой двадцатки», сосредоточивающих более 4/5 таких эмиссий – сокращение до минимума выбросов супер-загрязнителей требует усилий национальных, прежде всего местных, производителей и инвесторов, стимулировать и координировать деятельность которых значительно легче (хотя и непросто).

Опять-таки в отличие от проблемы эмиссий CO₂, эффект от такой деятельности намного лучше ощутит населением (более легкое дыхание и более прозрачный воздух), что облегчает получение его поддержки соответствующих мер, способствующих росту качества жизни. Кроме того, указанный эффект реализуется с существенно меньшими затратами и уже в обозримой перспективе. Убедительное подтверждение тому – эффект полного запрета во всех странах использования в автомобильном топливе свинца, который еще недавно был одним из основных супер-загрязнителей воздуха в

городах мира. Благодаря этому запрету количество преждевременных смертей сократилось на 1 млн. человек в год, а выгоды для глобальной экономики оцениваются в 2,5 трлн. долл. в год [18]. Теперь такими супер-загрязнителями от автотранспорта, выбросы которых надлежит резко сократить, являются оксид азота и взвешенные частицы. Одновременно значительное снижение выбросов супер-загрязнителей существенно смягчает техногенное воздействие на факторы формирования климата и, соответственно, климатические риски, учитывая, что, по оценкам экспертов, вклад указанных выбросов в прирост глобального парникового эффекта в 1990-2017 г. составил 18%, в 2017 г. достиг 1/3 [19, р. 2].

Для российских городов, прежде всего мегаполисов, приоритетное значение в обозримом будущем будет иметь снижение выбросов такого супер-загрязнителя как метан и другие свалочные газы от полигонов твердых коммунальных отходов. По оценкам экспертов ООН, частота острых респираторных инфекций у жителей районов, в которых мусор регулярно не вывозится или не изолируется от контакта с людьми, вшестеро выше, чем в районах, где соответствующие меры предпринимаются [20, р. 4,6]. Указанные риски хорошо известны в России, в том числе в Москве, в связи с ситуацией с мусорными полигонами Подмосковья, выбросы метана с которых вызвали серьезное недомогание десятков человек. За этим последовали массовые протесты жителей региона, жесткая критика Президента России и принятые в ответ на нее оперативные меры по закрытию части полигонов, мер по их дегазации и рекультивации почв.

Тем не менее, положение дел остается тревожным – по данным Минэкономразвития России, по состоянию на начало 2018 г. вредные выбросы от сектора «Отходы» увеличились на 42,7%. Разработка и реализация программ эффективного управления ТКО в рамках национального проекта «Экология», предусмотренного Указом Президента России № 204 от 7 мая 2018 г., позволят, прежде всего, серьезно снизить риски здоровью жителей урбанизированных зон, в том числе мегаполисов; улучшить экологическую обстановку и обеспечить более рациональное землепользование; одновременно существенно ограничив выбросы метана. О потенциальной «климатической» эффективности таких мер можно судить по оценке экспертов известной консалтинговой компании *McKinsey*: эффективное управление твердыми коммунальными отходами (вклад которых, прежде всего, метана со свалок, в мировые выбросы парниковых газов к 2025 г. может возрасти до 10% совокупных выбросов [21]) в состоянии обеспечить до 10% совокупного снижения выбросов парниковых газов в городах мира в период до 2030 г. [22, р. 48-51].

Связующим звеном стимулирующих и ограничительных и защитных групп мероприятий выступает *использование наилучших доступных технологий (НДТ)*. Благодаря этому, с одной стороны, обеспечивается сокращение производственных издержек и повышается производительность труда, улучшается качество выпускаемой продукции, что имеет первостепенное значение для ускорения темпов экономического роста и

модернизации экономики. С другой стороны, переход НДТ, по имеющимся оценкам, позволит сократить на 75-80% вредное и опасное воздействие техногенных выбросов на здоровье человека и экосистем, что одновременно, принимая во внимание содержащиеся в этих выбросах соединения углерода, обеспечит смягчение воздействия на климатообразующие условия и факторы, и, соответственно, снижение техногенных рисков климатических изменений.

Заключение: о ратификации Россией парижского соглашения в контексте стратегии снижения климатических рисков развития

Парижское соглашение подписали 197 государств, включая Россию, и уже ратифицировали 184 государства. Поэтому прямо или косвенно это соглашение и в целом международная климатическая повестка будут оказывать на Россию значительное влияние, использовать которое или противодействовать которому, при отказе от ратификации, уже не удастся. В связи с этим остаться за рамками Парижского соглашения для России было бы контрпродуктивно. Вместе с тем, не менее рискованным для страны была бы ратификация этого международного документа без тщательного анализа или недооценка рассмотренных выше рисков ускоренного перехода на стратегию низкоуглеродного развития, которую сторонники «климатического мейнстрима» полагают ключевой в реализации Парижского соглашения [4]. В этом случае Россия может «наступить на грабли», от которых предостерегает преамбула указанного соглашения: «Стороны могут страдать не только от изменения климата, но также от воздействия мер, принимаемых в целях реагирования на него».

В связи с этим, особого внимания требует активно ведущаяся в России дискуссия и попытки (см. [23]), ввести в стране уже в 2025 г. разрешения на выбросы парниковых газов для хозяйствующих субъектов на основе установления отраслевых лимитов на выбросы и, главное, сбора за их превышение без указания критериев и механизмов установления упомянутых лимитов, а также целевых показателей выбросов для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей.

Это повлекло бы за собой риск существенного увеличения фискальной нагрузки на бизнес (по крайней мере, без продуманных схем защиты энергоемких производств и одновременного сокращения других налогов и обязательных платежей) до 1 трлн. руб. в год к 2020 г. и до 3 трлн. руб. – к 2035 г.; и снижение и без того невысокой мотивации отечественного бизнеса к инвестициям [24, с. 26]. При этом наибольшее бремя ляжет на энергетический сектор, приоритетная роль которого как драйвера экономического роста в среднесрочной перспективе сохранится, ограничивая эффективность его инвестирования, и, соответственно, темпы его технологической модернизации и рост ВВП.

В результате, под угрозой окажется выполнение важнейших национальных целей по повышению темпов экономического роста выше среднемировых и ускорению технологического перевооружения, сформулированных в майском Указе Президента России. Кроме того,

прогнозируемое при этом сценарии существенное повышение цен и тарифов на тепло и электричество отрицательно скажется на величине располагаемых доходов потребителей, что осложнит достижение двух других национальных целей развития – обеспечения устойчивого роста реальных доходов граждан и снижение вдвое уровня бедности.

Поэтому представляется необходимым сопроводить ратификацию Парижского соглашения рядом условий. Прежде всего, обеспечения адекватной оценки роли российских бореальных лесов, которая пока сильно недооценивается международным климатическим сообществом – это условие прямо фигурирует в добровольных обязательствах России по соблюдению указанного соглашения.

Кроме того, как уже предлагалось, стоило бы скорректировать указанные обязательства (учитывая их добровольный характер, а также паузу в ратификации указанного соглашения) в части объемов эмиссии, привязав их к динамике ВВП, не ставя под риск долгосрочный устойчивый рост экономики. Иными словами, нужно комплексное решение, предусматривающее смягчение проблемы изменений климата и их последствий для населения и экономики страны в контексте и при обеспечении в среднесрочной перспективе приоритета социально-экономических целей устойчивого развития на основе запуска и поддержания устойчивых темпов экономического роста.

Литература

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642.
2. The Emissions Gap Report 2018 (A UN Environment Synthesis Report), Nairobi: UNEP, November 2018.
3. *Le Quéré, C. et al. Global Carbon Budget 2018. Earth System Science Data, 2018, 10, p. 2141-2194.*
4. Global Warming of 1.5°C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers. – Formally approved at the First Joint Session of Working Groups I, II and III of the IPCC and accepted by the 48th Session of the IPCC, Incheon, Republic of Korea, 6 October 2018. - 33 p.
5. *Порфирьев Б.Н. Экология как экономика: нобелевские премии. // Коммерсант - «Наука». Приложение № 45 от 31.10.2018. - С.8*
6. The Low Carbon Economy Index 2018. PwC: 2018. – 16 p.
7. New life for the Paris deal // The Economist. – December 16th 2017. - P. 51-52.
8. What they don't tell you // The Economist. – November 18th 2017. - P. 11-12.
9. Natural Hazards, Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention. N.Y.: The World Bank and the United Nations, 2010. - 282 pp.
10. Better Growth – Better Climate: The New Climate Economy Synthesis Report. The Global Commission on the Economy and Climate, Washington DC: World Resources Institute, 2014. - 72 p.
11. The Cost of Air Pollution Strengthening the Economic Case for Action. The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation – Washington, DC: World Bank, 2016. - 122 p.

12. State of Global Air 2018. Health Effects Institute Special Rep. Boston, 2018. 24 p.
 13. *Im, U.* et al. Assessment and economic valuation of air pollution impacts on human health over Europe and the United States as calculated by a multi-model ensemble in the framework of AQMEI13 // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2018. Vol. 18. - P. 5967-5989.
 14. Sucking up carbon // The Economist. – December 18th 2017. - P. 19-22.
 15. More solar power hurts nuclear energy. But is also hurts itself // The Economist. – September 8th 2018. - P. 60-61.
 16. *Широв А.А., Колтаков А.Ю.* Экономика России и механизмы глобального климатического регулирования // Журнал Новой экономической ассоциации. 2016. №4. - С. 87-110.
 17. Green Growth Indicators 2017. – Paris: OECD Publishing. - 2017.
 18. The European Environment: State and Outlook 2015: A Synthesis Report. – Copenhagen: European Environment Agency, 2015
 19. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2017 // WMO Greenhouse Gases Bulletin. – 2018 (November 22nd). - No 4.
 20. Waste: Special Report // The Economist, September 29th 2018.
 21. How the world should cope with its growing piles of rubbish // The Economist, September 29th 2018. - P. 14.
 22. Focused Acceleration: A Strategic Approach for Climate Action in Cities to 2030. – The McKinsey Center for Business and Environment and C40 Report: Executive Summary. – November 2017. - 72 pp.
- Проект Федерального закона «О государственном регулировании выбросов парниковых газов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» <http://regulation.gov.ru/projects#departments=6&kinds=6&npa=86521> (обращение 12 декабря 2018 г.)
23. Зеленые финансы: повестка дня для России. Диагностическая записка. – М: Экспертный совет по рынку долгосрочных инвестиций при Банке России, октябрь 2018 г. - 60 с.

В.А. Тишков¹

Российская идентичность и общенациональное единство: внутренние и внешние вызовы

Ряд важных вещей делает государство в полной мере легитимным и суверенным. Помимо охраняемых границ территорий с ее ресурсами, действующей Конституции и институтами власти, это наличие населения, освоившего и использующего пространство страны, его установленного наукой демографического и этнокультурного облика и исторически сложившегося образа жизни. Это также разделяемые историко-культурные ценности и основанная на них идентичность, обеспечивающая чувство сопричастности со страной, как своей родиной. Это понимание эффективного управления культурным обществом и способности власти и общества обеспечивать согласие и развитие с помощью научной экспертизы.

Обращаю особое внимание на активно изучаемую проблему российской идентичности. Проще говоря, речь идет о нашем национальном самосознании, ибо нет общей идентичности – нет и страны, ибо каждое новое поколение совершает своего рода внутренний референдум по вопросу: «Что такое Россия, что значит быть россиянином и что связывает гражданина с его страной?» Здесь наука прямым образом обеспечивает все эти важные вещи, ибо они не передаются биологически по наследству и не воспроизводятся механически.

Конечно, кое-что передается через семейные традиции, через среду проживания человека, но все-таки любое воспитание использует написанные учеными учебники; окружающая среда наполняется смыслами, начиная с топонимики и мест памяти с участием специалистов разного профиля, особенно историков, археологов, лингвистов. Ученые помогают объяснять и сохранять традиции и культурные ценности.

Обозначенные направления разрабатываются в сотрудничестве и при поддержке государства, конечно, в меньшей степени, чем в естественных науках, но в естественных науках – меньше с помощью бизнеса. Почему? Потому что без научной проработки процесс принятия решений, любая политика – это «нищая» политика или безответственная импровизация.

Существует своего рода социальный заказ от самого общества. Люди нуждаются в адекватных и актуальных для них версий прошлого. Им нужны результаты работ профессионалов по сохранению и воспроизводству культурного потенциала нации. Для жизненного благополучия им нужны разработанные наукой представления об окружающем мире и месте в нем России. Ученые помогают выработать и наполнять смыслами жизненные цели и ценности нации, стратегии развития страны.

За последнюю четверть века ученые РАН сделали очень много в плане обновленной версии нашего прошлого, ибо и страна как бы заново появилась; раскрыли преемственность исторического процесса и значения для нашей

¹Академик-секретарь ОИФН РАН, академик РАН

национальной памяти великих и драматических событий, как Великая российская революция 1917 г., Великая Отечественная война 1941-1945 гг.

Важным был вклад ученых РАН в подготовку важнейших государственных законов, а также проведение таких важных акций как Всероссийская перепись населения 2002-2010 гг., в результате которой были установлены демографический портрет россиян, включая расселение по нашей огромной территории; этнический состав, владение языками, результат миграционных процессов за последние 30 лет.

Если говорить кратко об оценке перспектив на основе наших исследований, здесь, пожалуй, две проблемы. Во-первых, все демографические митинги насчет вымирания России оказались в какой-то мере пустышкой. Страна сохраняется в результате усилий, в том числе и политических, и собственного общества, она всегда имеет какие-то ресурсы, более-менее приличную демографическую ситуацию. В том числе, включая и достаточно стабильную этническую структуру. С прибавлением Крыма доля русских, как основного населения нашей страны, примерно на том же уровне, что была в 1989-м году. Хотя численность общая уменьшается, и это, конечно, проблема очень важная.

Вторая проблема – это рост моноэтничности некоторых наших регионов, особенно республик.

И третья проблема – это концентрация излишнего населения в центре – в Москве и Московской области, когда почти 20% могут оказаться при такой огромной территории в одном месте. Никакие дальневосточные гектары здесь не переселят рекламу со стороны застройщиков покупать квартиры и переселяться в Москву или Московскую область.

Здесь мы готовы вести работу с Росстатом, с Минэкономки по стратегиям пространственного развития, демографического развития. С Федеральным агентством по делам национальностей мы вели большую работу по подготовке и исполнению Стратегии государственной национальной политики.

Наши предложения по этой теме – все-таки привлечь более основательно институты РАН к этой работе. И во исполнение Федерального закона сделать обязательной академическую экспертизу документов стратегического развития. Не ограничиваться только Высшей школой экономики и Российской академией народного хозяйства и государственной службы. Страна от этого только выиграет.

Так же можем поступить и с программами, кстати, переписи 2020 года и готовящимися программами культурного развития и пространственного развития.

Второй вопрос – в области изучения, сохранения и использования историко-культурного наследия российского народа. Здесь тоже наши институты, как центральной части, так и региональные, делали за многие годы очень много. И здесь должно быть понятно, что историческими и культурологическими исследованиями занимаются также многие ученые в системе вузовской науки. Объем выделенных вузовским работникам грантов по линии РГНФ и РФФИ уже превзошел академический сектор.

Но должен сказать, что фундаментальные проекты не могут выполняться перегруженными и разобщенными вузовскими преподавателями, а только крупными исследовательскими коллективами иногда на протяжении многих лет. Это, например, создание корпуса русского языка и других языков народов России; академические словари и энциклопедии; подготовка и издание собраний сочинений классиков русской литературы; подготовка многотомных изданий Всемирной отечественной истории; публикации государственных актов и других исторических источников.

Предложение: РАН и Минобрнауки России в стратегии поддержки гуманитарного знания сосредоточиться именно на крупных проектах и программах фундаментальных исследований, включая программы президиума РАН, которые объединяют академические институты (для этого, кстати, совсем не нужно их сливать) и университетских ученых. Гонка за большими цифрами полуфабрикатных статей и публикаций никак не сможет заменить фундаментальные разработки, а тем более обогатить науку новым знанием, а значит и международным признанием.

У российских гуманитариев приоритетным языком науки должен быть русский язык, а не английский язык. А перевод и пропаганду отечественных достижений во внешнем мире могут обеспечить особые группы. Минобрнауки России нужно пересмотреть показатели эффективности для ученых и научных коллективов в этом сегменте нашей науки.

Третья проблема. Особо хочу обратить внимание на научное обеспечение, а скорее, сопровождение крупных инфраструктурных проектов развития, а также многочисленных девелоперских проектов, которые предполагают масштабные сооружения, массовые жилищные застройки, транспортные коммуникации и пр.

Ученые не могут стоять в стороне и не должны допустить повторения феномена колокольни в Калязине, когда в результате строительства гидростанции в СССР были затоплены и навсегда погублены тысячи поселений, памятников архитектуры и, конечно, бесчисленные археологические материалы.

Сейчас земельные собственники и строительные монстры добились принятия поправок к Градостроительному кодексу Российской Федерации, которые отменяют обязательное археологическое обследование мест застройки и получение заключения Российской академии наук на ведение строительных работ. Теперь Минкульт России должен определить во всей территории страны перспективные и неперспективные места для археологических обследований.

Эта задача невыполнимая и даже абсурдная, ибо ясно, что в том же районе Москвы и Московской области в любом месте могут содержаться археологические материалы и памятники отечественной истории. Но именно эти земли, кстати, сейчас часто в руках и уже спланированы под тотальную застройку, а природно-исторический парк Подмосковья в районе от Звенигорода до Успенского был похоронен. Более того, сам Звенигород собираются присоединить к городу Одинцово, и с карты страны может

исчезнуть название древнерусского города, основанного еще в 1152 году, тогда же, когда и Москва.

Вот эту ошибочную политику пространственного развития нужно срочно исправить. А нормы по сохранению как природного, так и историко-культурного ландшафта следует обновить и даже ужесточить. Пока мы не изуродовали свою страну, включая ее самый центр, колыбель российской государственности, РАН в лице нашего Отделения готов вместе с Минкультом России, Минприроды России и Минэкономразвития России подключиться к этой работе.

Есть недавние позитивные примеры. Это выполненные археологами срочные работы на территории московского Кремля при разборе административного корпуса. Раскопки и обследования в зоне строительства Крымского моста, давшие ценные находки. Обследования верхнего течения реки Москвы в районе Николиной горы, которые, к сожалению, никак не учтены властями столицы и области.

Следующий вопрос – об изучении межнациональных отношений и этнокультурной политики, включая языковую политику. Ситуация в этой стране в целом позитивная (я оцениваю немножко более оптимистично, чем академик Наумкин). Особенно после присоединения Крыма и успешных мировых соревнований – Олимпийских Игр в Сочи и Чемпионата мира по футболу.

Но согласен, что в большом и сложноустроенном государстве требуется постоянный мониторинг этой стороны нашей жизни и научная проработка проблемы этнической и религиозной жизни страны. Изучаться должны как традиционная культура русского народа, русский язык и русская словесность, так и культуры, а также языки других российских народов. И не только российских, но и мировой культурный ландшафт тоже остается в поле зрения наших российских гуманитариев. Это одна из наших традиций.

Кстати, академические традиции в этой сфере имеют славные достижения, которые к 300-летию юбилею РАН следовало бы особо отметить отдать должное тем российским «колумбам», которые открывали и осваивали новые земли, собрали уникальные научные материалы, музейные коллекции и сделали их описание. Это культурное многообразие успешно изучается в академических центрах российских республик.

Предложение: Минобрнауки России поддержать эти исследовательские коллективы и уберечь их от поглощения местными физиками, химиками или аграриями и астрономами. Связь стран обеспечивает должный уровень на местах, я имею в виду в республиканских центрах гуманитарных подразделений, противодействует изоляционизму и периферийному национализму. Сотрудничество ученых наших регионов – один из компонентов обеспечения единства российской нации.

И последнее. Для так называемой центральной части академической науки приоритетной становится разработка темы российской идентичности. И здесь были выполнены крупные исследования, об этом уже говорилось. Вывод вполне определенный: на смену старой советской и регионально-этнической

идентичности, т.е. чувству сопричастности, в качестве приоритетного пришло самосознание общероссийское, т.е. люди среди набора идентичностей, кем они считают себя, прежде всего, ставят на первое место «я – гражданин России, я – россиянин».

В некоторых регионах и республиках этническая принадлежность может опережать общероссийскую, но все равно нигде в стране нет ее явного отрицания. Отсюда проблема для академической науки – чем наполнять и обновлять этот сложный комплекс формирования сопричастности с Россией; как соединить образ малой и большой Родины; что положить в основу патриотического воспитания граждан; какие духовно-нравственные начала сохранять и что предложить нового по запросам и чувствам нового поколения россиян. Перед наукой здесь большой долг, ибо многое отдано на откуп коммерческим расчетам, идеологизированным конъюнктурным подходам. Научное знание в массовом потреблении подменяются провидческими или эзотерическими трактовками духовно-нравственной стороны нашей российской жизни.

Здесь сказывается результат некоторой изоляции последнего времени от мировой науки наших гуманитариев, и, наверное, все-таки уже появляются плоды, что многие получили степени, дипломы, практически ничего не делая, а просто за них заплатив. Вот этот интеллектуальный изоляционизм и самонадеянность всегда были чужды академической науке. Даже в советское время в области общественнознания был обмен информацией и международное научное сотрудничество. Сейчас в рамках РАН это на нуле, кроме инициатив одиночек и некоторых грантовых программ.

Новая «холодная война» и русофобия работают против нормальной деятельности ученых. В этой ситуации плодятся антинаучные версии прошлого, фальсификации и скандальная ревизия устоявшихся в науке оценок. Здесь не идет речь о серьезных вызовах со стороны зарубежных ревизий российской истории и о наших проблемах.

Предложение: провести инвентаризацию идейно-смыслового багажа отечественного руссиеведения, попробовать выработать научную концепцию Российского национального проекта как государства нации с отличительной историей и национальными интересами, но составляющие часть мировой, прежде всего европейской цивилизации и развивающейся по многим общим для других стран и обществ законам. Изоляционизм, выпадение из общих трендов развития могут нам обойтись дорого, и часть ответственности здесь будет лежать на науке. По крайней мере, мы несем большую долю ответственности за уровень компетенции как правящей элиты, так и населения в целом за их жизненные установки и за формирование среди молодого поколения ответственного гражданина.

А.Е. Суринов¹

О взаимодействии Федеральной службы государственной статистики и РАН

Федеральная служба государственной статистики очень тесно взаимодействует с экспертным сообществом и с академической наукой. Прежде всего, конечно, это экономический блок, это социологи, демографы. Но раз в 10 лет, когда мы начинаем готовить очередную большую перепись населения мы очень тесно взаимодействуем с этнографами в лице института, который до недавнего времени возглавлял Валерий Александрович Тишков, с лингвистами, где особую роль играет Институт русского языка, поскольку мы прикасаемся к очень сложной теме: мы должны дать картину этнической структуры нашего общества. Поверьте, это очень сложная штука. Почему? Потому что в общем-то мы задаем людям вопрос – кто вы по национальности. И люди отвечают на этот вопрос. Казалось бы, что проще – взять и обработать эту информацию.

Наши предшественники в 1897 году, когда делалась первая всеобщая перепись населения в Российской империи под руководством Семенова-Тяньшаньского, этот вопрос не задавали. Этот вопрос появился в 1920 году, когда перепись готовили под руководством В.И. Ленина. Этнический состав Российской империи был получен. Что же делали наши предшественники еще в конце XIX века? Они задали три вопроса людям и по сочетанию этих признаков определяли этническую принадлежность. Это место рождения, родной язык и религиозная принадлежность. Тогда считалось, что это вопрос, который задавать не следует, но с 20-х годов мы этот вопрос задаем и продолжаем его задавать. В соответствии с нашим законом, как мы задавали его в 20-м году, и в пробной переписи, которую мы только что завершили (вчера подвели первые итоги) в октябре этого года.

Но что сказать? Казалось бы, чего проще? Взять и суммировать ответы, взять словарь самоназваний, которые разработали коллеги Валерия Александровича, сгруппировать, получить этнический состав страны. Но если посмотреть на этническую карту России за 1989 год, когда еще был РСФСР, потом первую перепись современной России за 2002 год, то картинка резко поменяется: доля русских резко упадет, заметно вырастет доля тех, кто свою национальную принадлежность не определил. Появляется много людей не из титульных национальностей. Берем 10-й год, сравниваем: опять доля русских растет. Она достигает уровня 1989 года и т.д. Что же происходит? Что, люди уезжают, умирают, рождаются? Да нет. Конечно, это просто самооценки, подверженные разным влияниям – политическим, социальным и т.д. Численность казаков в 1910 году по сравнению с 1920 годом сократилась в два раза, за исключением Дагестана, где выросла. Почему? Говорят, активный атаман был. А мы должны все это учитывать, насколько это дает смещение этнических оценок.

¹ Руководитель Федеральной службы государственной статистики

Специально проведено сравнение с одной из стран с похожей на Россию судьбой. Это Чехия. Помните, Чехия, Чехословакия, социалистический лагерь? Если посмотреть на то, что произошло в Чехии с точки зрения структуры наций, это примерно то же самое: по переписи 80-го года - это в основном две национальности – чехи, словаки и прочие, которых очень немного. 1991-й год, первая перепись современной Чехии: число чехов резко сократилось, еще более резко сократилась доля словаков, катастрофически выросла доля моравов, появились и увеличилась доля людей, которые не хотели определить свою национальность. А последняя перепись – это 2011 год (в Евросоюзе делают переписи в годы, оканчивающиеся на единицу), когда более четверти чешского общества не захотело определить свою национальность.

С этой постоянно меняющейся самооценкой или этнической картиной мы сталкиваемся раз в 10 лет. Некоторые страны, которые проводят перепись раз в 5 лет, сталкиваются с этим чаще. Почему я столь подробно об этом говорю? Потому что, мне кажется, это очень достойное и очень важное исследование – получить этническую картину.

Мы страна многонациональная, мы страна полилингвистическая, если можно так сказать, и конечно, единственный законный источник информации об этнической структуре населения, о лингвистической структуре населения – это перепись населения. Очень надеемся на то, что сотрудничество, которое сложилось у нас с институтом и до Валерия Александровича, и ранее, продолжится, потому что, это и прикладные, и фундаментальные исследования, потому что это очень сложная вещь – работа именно с такими данными, характеризующими меняющуюся реальность.

В.Я. Белокреницкий¹ **Этнополитические конфликты и пути их решения**

Хотел бы поддержать основные тезисы доклада, с которыми выступил академик В.В. Наумкин. Он предложил нетрадиционный подход к этнополитическому конфликту (ЭПК), связав такого рода конфликт с целым набором новых явлений, с которыми ныне столкнулся мир. Здесь и процессы миграции мирового населения с Юга на Север, порождающие межэтническую напряженность, и утрата глобальной управляемости, и усиление роли на этом фоне региональных держав, где этнические конфликты не всегда решены, и ряд других моментов.

Тем не менее, опустимся с этого глобального межгосударственного уровня на более привычный, внутригосударственный. Поскольку большинство ЭПК порождаются именно ситуацией внутри стран.

Политический конфликт на этнической основе в чистом виде встречается достаточно редко. Но этническая компонента политического конфликта, т.е. борьбы за власть, ее распределение, за дележ власти, присутствует во многих из них. Классическим примером этнополитического по преимуществу конфликта может служить борьба между сингалами и тамилами в Республике Шри Ланка, на острове Цейлон. Столкновение интересов развернулось вокруг вопроса о государственном языке и затронуло интересы работающих и потенциальных служащих госаппарата. Носители официального языка, которым в период разворачивания конфликта признавался сингальский, получали естественное преимущество перед носителями языка (тамильского), не признанного таковым. В Шри Ланке этнический конфликт был усугублен конфликтом религиозным, поскольку сингальское большинство – это буддисты, а тамильское меньшинство – индуисты. Ввиду того, что тамилы составляют большую часть населения на севере и северо-востоке острова, оппозиционное движение, помимо борьбы за государственный язык, приобрело характер борьбы за автономию тамильских регионов, а с начала 1980-х годов и за создание отдельного государства – Тамил Илама. Кровавопролитный конфликт растянулся более чем на 25 лет, в его ходе погибло около 100 тыс. чел. Число жертв возросло из-за того, что сепаратисты использовали мирное население как живой щит. Конфликт завершился полным разгромом сепаратистов весной 2009 г. Такой исход – безоговорочная победа одной из сторон – в истории внутренних конфликтов, случается достаточно редко. Большинство из них, согласно представительному исследованию более 90 конфликтных ситуаций, возникавших после Второй мировой войны, завершались вничью, путем уступок с той и другой стороны.

Продолжая разговор о конфликтах в Южной Азии, хотел бы отметить, что шриланкийской модели урегулирования конфликта противостоит непальская модель. Правда, этнополитическим конфликт в Непале назвать трудно, хотя была там и определенная этнотерриториальная составляющая. Но в основном

¹ Заведующий Центром изучения стран Ближнего и Среднего Востока Института востоковедения РАН, доктор исторических наук

в Непале развернулась идейно-политическая борьба между правительством и местными маоистами. Вооруженный конфликт продолжался 10 лет, с 1996 по 2006 г., и завершился тем, что власть пошла на удовлетворение основных требований маоистов, в результате чего Непал стал республикой, а маоисты согласились принять участие в выборах и распустить свои вооруженные силы.

Похожим по путям урегулирования на непальский может стать продолжающийся до сих пор крайне острый и затяжной конфликт в Афганистане. Разумеется, всякая аналогия в истории и политике условна и полезна лишь до определенного предела. В афганской ситуации легко различим этнотерриториальный аспект, поскольку главная оппозиционная сила – талибы – пользуется поддержкой, прежде всего, на юге и востоке страны, где большинство составляют пуштуны. На севере и западе Афганистана, где пуштуны в меньшинстве, успехи талибов меньше. Конфликт имеет преимущественно идеолого-политический характер, где сталкивается исламский радикализм и экстремизм с умеренно-исламской идеологией, до определенной степени светской, в позволительной для мусульманской среды форме. Конфликт при этом густо окрашен в тона, характерные для афганского полупатриархального общества, и потому найти пути его урегулирования нелегко. К тому же, в отличие от непальского, афганский конфликт имеет многоуровневое внешнее измерение.

По общему мнению, время для радикального разрешения конфликта, путем ослабления и вытеснения талибов, как это происходит в настоящее время, с ИГИЛ (запрещенная в РФ организация, для обозначения которой используется несколько названий, одно из них – Исламское государство Ирака и Леванта), безвозвратно упущено. Патовая ситуация с точки зрения реального контроля на местах делает необходимым и возможным путь урегулирования конфликта с помощью переговоров и вовлечения талибов в легальный политический процесс. Наша дипломатия, имея в виду этот путь, добилась недавно несомненного успеха, организовав многосторонние переговоры в Москве с участием представителей талибов и афганского правительства.

Этот успех не означает, что урегулирование будет легко достигнуто. Нужно иметь в виду, что прогресс в мирном разрешении конфликта возможно достичь лишь при обязательном выполнении главного условия талибов о выводе иностранных войск из Афганистана и их согласии на дележ власти с нынешним руководством страны.

В заключение еще об одном вопросе, поднятом академиком В.В. Наумкиным. Речь идет о том, что не только курдам или палестинским арабам не удалось пока создать собственной полноценной государственности. Между тем, при определенных условиях число «провалившихся государств» в регионе к югу от российских границ может увеличиться, и на повестку дня встанет вопрос о борьбе за идентичность и государственное самоопределение ряда других этнонациональных общностей. Это усилит и без того значительные волатильность и хаотичность регионального миропорядка и поставит новые дилеммы перед нашей внешней политикой, к решению которых целесообразно привлекать экспертов из академической среды.

И.С. Семененко¹

О восприятии вызовов в социальных процессах

Хотела бы остановиться на проблеме восприятия вызовов и его проекции в социальных процессах, как она отражается в структуре личностных и групповых идентичностей.

Именно такое восприятие определяет среду, в которой происходит разработка на «большие вызовы». Поэтому без этого понимания достаточно сложно говорить о перспективах ответов.

В первую очередь речь идет о преодолении кризиса идентичности (о чем говорили уже академики Дынкин, Тишков и Наумкин), то есть о социальных ресурсах эффективного ответа на «большие вызовы». Каким образом? – На основе позитивного видения будущего, мотивации на развитие, формировании того, что мы называем «идентичность развития». Потому что без видения личностных перспектив человека в общественном развитии вряд ли удастся ответить на эти «большие вызовы». По крайней мере, ответить эффективно.

Полагаем, что речь идет о модели, которую можно назвать в перспективе «моделью ответственного развития» для мира и для России. Если кратко сказать о том, что это такое, то она опирается:

- во-первых, на использование интеллектуальных нематериальных не возобновляемых ресурсов в разных сферах;
- во-вторых, на стратегическое видение развития;
- в-третьих, на взаимодействие субъектов развития – государства, бизнеса, гражданских организаций, образовательного, научного сообщества, ответственных СМИ.

Поэтому так важно прогнозирование социально-экономических и политических процессов, которыми наш Институт занимается уже не первое десятилетие, меняя структуру прогнозов в соответствии с меняющейся повесткой дня.

Второй вопрос – как в России продвигаться к реализации такой модели в условиях, во-первых, быстро меняющихся потребностей людей, во-вторых, в условиях радикально меняющейся культурной нормы в мире и отчасти в России?

Академик Дынкин уже говорил о масштабных образовательных проектах. Думаю, что одной из важнейших задач на этом направлении является формирование общего интеллектуального и культурного пространства России.

Чтобы проиллюстрировать важность этой задачи, скажу, что, к сожалению, у нас нет даже площадок для взаимодействия между регионами, между территориями. Нет общего музейного пространства, в котором были бы представлены культурные разнообразия народов России, традиций и главное – позитивный взгляд в будущее; сочетания традиций и инновационного подхода к развитию.

¹ Заместитель директора ИМЭМО РАН, член-корреспондент РАН

Поэтому налаживание горизонтальных связей – в первую очередь через образовательные сети, через научно-исследовательские программы, через экспертные платформы сообщества, – очень важный вызов, где мы можем сказать свое слово.

И последнее. Наука вступает на поле борьбы за идентичность, и наша полноценная вовлеченность через представление в публичном пространстве результатов наших исследований, возможностей их использования может поднять и значимость научного знания, и помочь в преодолении страхов, которые лежат в основе кризиса идентичности, и преодолеть тот барьер, о котором говорили наши респонденты о низком уровне ценности научного знания, выйти на новое понимание научного знания.

И.Д. Звягельская¹

О проблеме урегулирования современных конфликтов

О проблеме урегулирования современных конфликтов.

Очень много о них говорится, но что касается инструментов урегулирования, то здесь дело обстоит достаточно плохо.

С одной стороны, имеется такая многосторонняя организация, как ООН. Но в последнее время справедливо говорят о необходимости ее реформирования, поскольку ООН была создана не для урегулирования современных конфликтов, в основном протекающих внутри одного государства. Она была создана для урегулирования или, по крайней мере, стабилизации ситуации межгосударственных конфликтов.

Сейчас можно говорить о том, что, в основном, о воздействии на конфликт рассказывают разного рода коалиции либо в рамках гуманитарной интервенции, либо в рамках концепции ответственных за защиту. Они могут обращаться в ООН за мандатом, а могут прекрасно обходиться и без него. Пример Ливии – яркий тому пример.

В этой ситуации все больше говорится о том, что многосторонние действия на самом деле в рамках ООН оказываются неэффективными. На смену приходят односторонние действия. Сейчас все говорят о президенте Трампе, – о том, что он поступает крайне неожиданно в формате конфликтов. Это и перенос посольства в Иерусалим (если говорим о палестинской проблеме), это и отказ финансировать «БАПОР», это очень яркий антиирионизм, и на этой платформе Америка пытается сплотить различные силы на Ближнем Востоке.

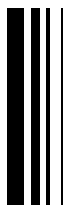
Но надо сказать, что здесь, конечно, трудно судить, идет ли речь о личных качествах президента, о том, что он, прямо скажем, не очень профессионален в этой сфере, или же речь идет действительно о некоем переходе к односторонним действиям.

Представляется, что хоронить многосторонние действия пока рано. Просто они должны быть дополнены большим сотрудничеством с региональными державами, которые сейчас активно выходят на первый план, которые всячески участвуют в конфликтах и в прокси-войнах на том же Ближнем Востоке, и не только там.

Но проблемы заключаются в том, что эти государства руководствуются в основном рациональным эгоизмом, и они не очень настроены на совместные действия внутри региона. То есть нужен все равно внешний мотор, внешний фактор.

В качестве примера такого взаимодействия можно привести астанинский формат, где Россия взаимодействует с Ираном и Турцией. Но при этом тоже надо понимать, что это взаимодействие, имевшее позитивные моменты, тем не менее не вечно, поскольку и Турция, и Иран будут стремиться закрепиться в послевоенной Сирии и вряд ли будут очень озабочены тем, как именно будет выглядеть мирный ландшафт в этой стране.

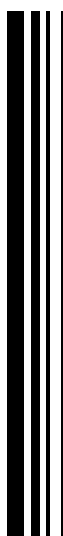
¹ Заведующая сектором ближневосточных исследований ИМЭМО РАН, доктор исторических наук



П Р И О Р И Т Е Т

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

«Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания»



Председатель Совета по приоритету –
академик РАН ДОННИК И.М.

А.П.Майоров¹

**Приветственное слово от имени Председателя Совета Федерации
Федерального Собрания Российской Федерации**

Прежде всего, от имени Председателя Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации Валентины Ивановны Матвиенко, от членов нашей Палаты хотелось бы приветствовать участников сегодняшнего заседания. И хотелось бы сказать, что в настоящее время роль науки в современном мире крайне высока. Какое место будет занимать наша страна на мировых рынках, как мы будем выглядеть в плане общеэкономической ситуации, в плане развития различных отраслей производства, сельского хозяйства – многое зависит от нашей науки.

Поэтому еще раз хочу всех поприветствовать, пожелать плодотворной работы. У нас сейчас налаживаются очень конструктивные контакты с Российской академией наук. Александр Михайлович Сергеев у нас часто бывает. Большая группа сенаторов во главе с В.И. Матвиенко недавно была в Президиуме РАН. Обсуждались самые разные вопросы, начиная со стратегии пространственного развития, заканчивая развитием различных отраслей народного хозяйства. В результате было подписано Соглашение о сотрудничестве между Российской академией наук и Советом Федерации Федерального Собрания Российской Федерации. Я думаю, что наша работа будет конструктивной и плодотворной.

Желаю продуктивной и конструктивной работы всем участникам Научной сессии Общего собрания членов РАН.

¹ Председатель Комитета Совета Федерации Федерального собрания Российской Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию

И.М. Донник¹

Вступительное слово председателя совета по приоритету: Прорывные агротехнологии – фактор развития Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации

Разрешите поблагодарить всех, кто откликнулся на наше приглашение. Особенно я хотела бы поблагодарить руководителей департаментов различных министерств, а также представителей регионов, которые нашли время приехать. Я знаю, что есть и министры сельского хозяйства, и их заместители, и руководители сельскохозяйственных институтов. Также я приветствую директоров научно-исследовательских институтов РАН и ректоров вузов.

В формулировке нашего приоритета, наверное, ключевым словом можно считать слово «переход». Этот переход должен быть не плавным, так как согласно майскому Указу Президента России на это отводится краткое время, а переход должен быть прорывным, так как цифровая экономика должна преобразовать приоритетные сферы, в том числе и сельское хозяйство. Наше сельское хозяйство – не простая отрасль. Несмотря на сравнительно невысокую долю занятости, в нем, тем не менее, это важная отрасль не только для России, но и для всех зарубежных стран.

К сожалению, рынок IT-специалистов в нашей отрасли очень низкий (1 на 1000), в то время как объем рынка возрастает с каждым годом и составляет около 40 процентов. Исходя из этого, совместно с Минсельхозом России нами были разработаны концепция и подпрограмма «Цифровое сельское хозяйство». В работе принимало участие значительное число организаций, авторов из разных отраслей. Кроме того, существенной помощью в реализации таких программ может являться федеральная научно-техническая программа «Развитие», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации. Мы надеемся, что в перечне программ КНТП, проекты которых рассматривались, найдется место и нашей программе.

Что такое «умное» сельское хозяйство?

Наши коллеги из Агрофизического научно-исследовательского института разработали модель будущего сельского хозяйства (рис. 1). Согласно ей, мы предлагаем пять первоочередных направлений, которые могли бы охватывать все области и науки, и производства. Это: умное поле, умная ферма, умная теплица, умный сад, умное хранилище. Это все фигуральные названия, это общемировой сленг. Конечно, можно их критиковать, но смысл такой, что это должна быть замкнутая интеллектуальная система. В рамках этих проектов должна быть создана комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла.

Согласно прогнозу научно-технологического развития аграрно-промышленного комплекса страны, подготовленного Высшей школой

¹ Вице-президент РАН, академик
РАН

экономики, основными направлениями Стратегии развития сельского хозяйства, помимо цифровизации, должны являться: генетические ресурсы; создание машин нового поколения; новые технологии хранения, переработки и защиты животных и растений.

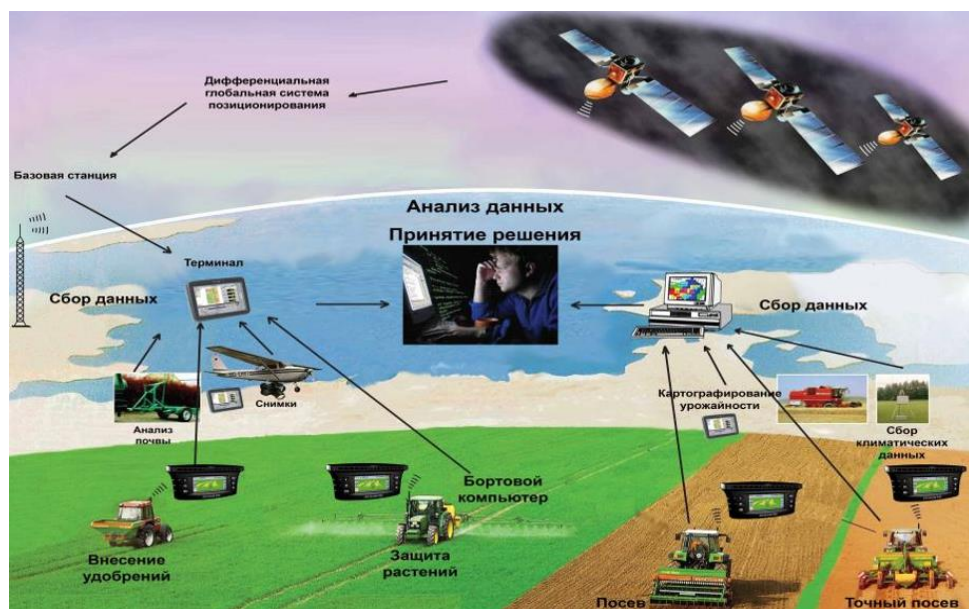


Рис. 1. Модель «умного» сельского хозяйства

Соответственно, прорывными областями исследований являются: биотехнологические, геномные, когнитивные, климато-метеорологические, навигационные, роботизированные системы.

Что мы должны получить? Мне очень нравится выражение академика Кирпичникова: «мы должны иметь «технологическую независимость» прежде всего». Получить мы должны новые сорта, новые технологии с учетом меняющегося климата. То, что он меняется, это признанный факт. Коллеги из Санкт-Петербурга показали, что только лишь за последние 20 лет в три-четыре раза увеличилось количество неблагоприятных погодных условий в определенные сезоны. Такие последствия приводят к переувлажнению почвы, потерям урожая и потерям его качества (рис. 2).

Индикаторы выполнения программ достаточно высокие. И их невозможно было бы выполнить, если бы не было хорошего научно-технологического задела. Среди них – разработка методов дистанционного зондирования, мониторинг состояния земель с помощью беспилотных летательных аппаратов, когда контролируются и качество внесения удобрений, и погрешности обработки почв; выявляются угнетенные участки растительности, болезненные участки, зоны застоя воды. И на основе этого – технологии локального внесения средств защиты беспилотными аппаратами или же локальное внесение удобрений, контроль орошения и т.п.

Условия погоды на ЕТР	Период,	Повторяемость, %
май-июнь		
Засушливые условия	1940-1979	20,0
	1980-2000	68,4
	2000-2017	77,5
Избыточное увлажнение	1940-1979	42,5
	1980-2000	21,1
	2000-2017	17,8
июль-август		
Засушливые условия	1940-1979	20,0
	1980-2000	14,3
	2000-2017	26,8
Избыточное увлажнение	1940-1979	30,0
	1980-2000	28,6
	2000-2017	35,8

Рис. 2. Частота экстремальных погодно-климатических явлений

Следующей большой областью исследований является селекция. Но перед селекционной наукой стоит огромный вызов: нужно за пять-шесть лет в два раза увеличить продуктивность зерновых культур с высоким уровнем протеина.

Мировые тенденции сейчас таковы, что преобладает геномная селекция (рис. 3), в том числе генетическое редактирование растений, которые помогают осуществлять селекцию или выведение новых сортов с заданными свойствами. Это также криосохранение с использованием цифровых технологий или же выведение сортов с устойчивостью к каким-то определенным признакам.



Рис. 3. Мировые тенденции молекулярно-генетических исследований

Большой опыт накоплен по получению безвирусного посадочного материала, а также в системе биологической защиты культур, которые позволяют снижать количество химических удобрений. И даже с такой напастью наши ученые научились справляться. Вы знаете, что это новый вредитель, который буквально заполонил сейчас юг России. Но, тем не менее, ученые уже нашли «противоядие».

На наш взгляд, очень перспективным, прорывным исследованием может являться метагеномика. Возглавляет это направление у нас академик Игорь Анатольевич Тихонович. И как раз ресурс микробиома можно существенно использовать для улучшения плодородия.

В животноводстве одна из главных проблем – это потеря биоразнообразия (рис. 4). За счет генетических технологий удастся сохранить, во-первых, потенциал аборигенных пород, а во-вторых, выводить новые породы.

В ветеринарии также создаются новые прорывные препараты на основе биологических субстанций, особенно не связанных с антибиотиками.

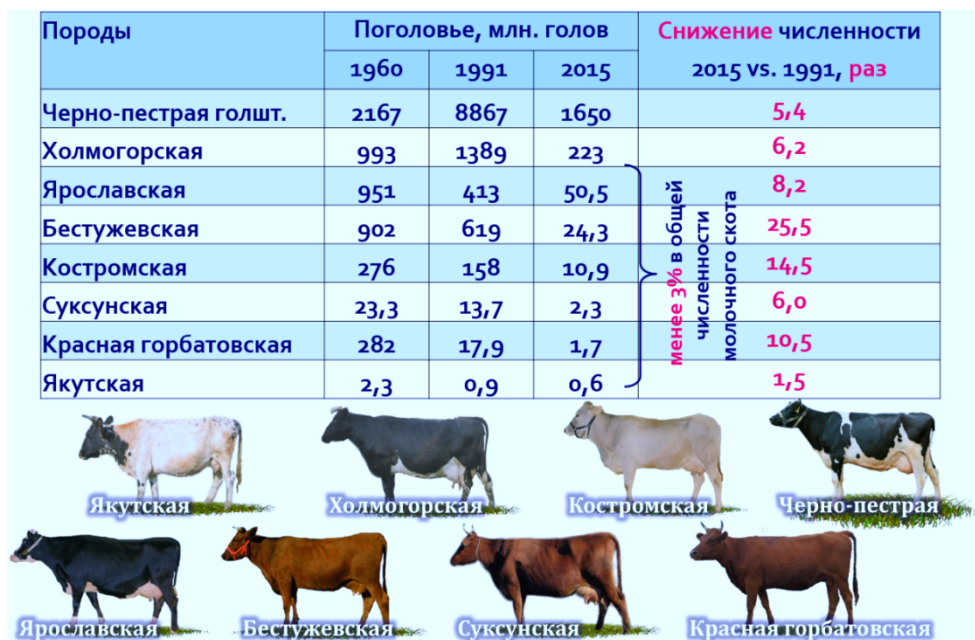


Рис. 4. Потеря биоразнообразия сельскохозяйственных животных (на примере молочного животноводства РФ)

В переработке наши ученые накопили потенциал, который позволяет вовлекать в глубокую переработку до 5-6 миллионов тонн зерна ежегодно (рис. 5). Так же перерабатываются другие культуры. Есть задел в области продления сроков хранения, особенно с помощью физических методов. И очень интересные исследования ведет Институт управления по созданию прогнозных моделей, когда прогнозируется урожайность.

И в то же время ведутся работы по созданию таких замкнутых модулей, так называемых фитотехнических комплексов, которые находят применение не только в средней полосе, но и в отдаленных регионах, в том числе в Арктике.

Если говорить о создании новых поколений сельхозтехники, то здесь крен, конечно, должен быть на роботизацию и автоматизацию. И мне очень приятно сказать, что здесь присутствуют коллеги из Уральского региона, где уже произведены ходовые испытания трактора в беспилотном варианте. Уральским НПО автоматики совместно с Россельмашем создан комплекс для беспилотных комбайнов. Уже сейчас он проходит испытания. И за этим будущее, и у нас есть, конечно, головная организация, это наш Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, который разрабатывает эти комплексы.



Рис. 5. Структура научно-технического проекта глубокой переработки зерна

Заканчивая, я хотела бы показать данные, представленные нашим легендарным академиком Вячеславом Ивановичем Черноивановым:

При внедрении высокоточных технологий 1 кг семян даст возможность получить 40-70 кг зерна (против 12 кг при экстенсивных), снизить затраты топлива и получить на 1 кг-7-9 кг зерна (против 2-3 кг);

Применение multifunctional machines ensures an increase in labor productivity up to 60-65% and a reduction in fuel consumption by 1.5-2 kg/ha;

Deviation from the specified sowing depth of seeds by more than ± 10 mm leads to a loss of ~ 25 % of the yield.

Each additional cm of increasing the depth of plowing leads to an increase in fuel consumption by 0.5-1.5 l/ha;

Снижение давления в шинах позволяет экономить до 15 % топлива при одновременном увеличении тяговых усилий на 30 %;

Неравномерное внесение удобрений снижает урожай в среднем на 13 % и ведет к потере удобрений до 10 %;

Малообъемное и ультраобъемное опрыскивание снижает расход пестицидов примерно в 2 раза.

Таким образом, он показывает, что при внедрении высокоточных технологий можно получить в разы больше урожая при в разы меньшем количестве затрат на топливо и на другие энергетические ресурсы.

Приведенные научные заделы могут быть использованы при формировании комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла по нашему приоритету научно-технологического развития Российской Федерации.

Я хочу поблагодарить всех, кто принимал участие в подготовке данного доклада.

А.Л. Иванов¹

Научно-технологическое развитие цифрового землепользования в Российской Федерации. Государственное регулирование

В президентских и правительственных распоряжениях последних лет четко обозначены приоритеты социально-экономического и научно-технологического развития Российской Федерации [1-4]. Десятую часть ВВП страны в ближайшее десятилетие будут создавать новые секторы экономики, связанные с широким внедрением цифровых технологий, в том числе и в сельском хозяйстве. По существующим прогнозам, применение технологий нового поколения способно увеличить производительность мирового сельского хозяйства на 70% к 2050 году. Вместе с тем, Россия занимает 15-е место в мире по уровню цифровизации, в стране только 10% пашни используется с применением цифровых технологий.

С конца 2017 года Минсельхоз России совместно с РАН разрабатывает программу «Цифровое сельское хозяйство». В соответствии с этим подготовлена концепция научно-технологического развития «Цифровое сельское хозяйство» и одноименная комплексная программа. Единой концепцией объединены несколько базовых направлений, в т.ч. «Цифровое землепользование» (рис. 1).

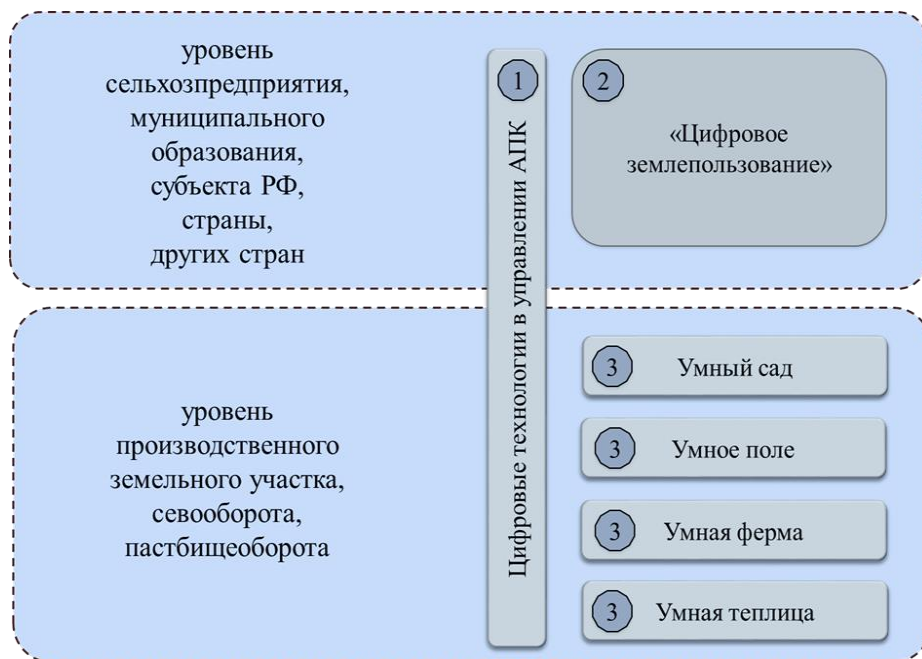


Рис. 1. Структура программы «Цифровое сельское хозяйство»

¹ Директор Почвенного института им. В.В. Докучаева, академик РАН

Проект «Цифровое землепользование» апробирован в Минсельхозе на платформе Единой Федеральной Информационной Системы Земель Сельскохозяйственного Назначения (ЕФИС ЗСН), заслушан на Совете РАН по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития РФ. Он многосложный, апробированный, конкурентоспособный, бизнес-востребованный, картографически масштабирован и иерархически многоступенчат от Министерства до землепользователя, обоснован с точки зрения необходимой инфраструктуры, спутниковых конфигураций, систем навигации и геолокации, регистров гиперспектрального оборудования и других средств детектирования.

Проект должен обеспечить в конечном итоге использование интеллектуальной системы планирования и оптимизации использования земель в сельскохозяйственном производстве на разных уровнях обобщения, функционирует на основе цифровых, дистанционных, информационных технологий и методов компьютерного моделирования.

Он состоит из разноуровневых блоков, работающих автономно и в единой информационной системе (рис. 2):

- сбора, актуализации и хранения данных о состоянии земель;
- мониторинга состояния и использования земель;
- многоцелевой оценки пригодности земель и моделирования потенциальной урожайности;
- прогнозирования урожайности с/х культур;
- планирования размещения с/х угодий и производственных сил,
- проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий, технико-экономических обоснований, программ обустройства села;
- кадастровой оценки земельных участков и их залоговой стоимости;
- адаптивно-ландшафтного землеустройства.

Все это должно обеспечить валидацию и демонстрацию ее возможностей на примере ряда пилотных проектов, создание сети центров компетенции по внедрению проектов ландшафтного земледелия и технологий цифрового землепользования, а также сети центров повышения квалификации и обучения специалистов, коммерциализацию и трансфер пользователям.

К нерешенным научно-технологическим проблемам относятся: неурегулированный доступ к данным дистанционного зондирования нужного типа, пространственного разрешения и периодичности; недостаточная разработанность алгоритмов прикладного тематического анализа, методов калибровки моделей; отсутствие стационарной сети полигонов сбора информации о свойствах почв, систем удаленного сбора и анализа информации, единой информационной базы свойств почв и земель, единой системы оперативного индикатирования и моделирования продуктивности агроценозов, анализа метеоинформации и др. Создание условий для научно-технологического сетевого обучения, нормативно-правового регулирования также относятся к числу первоочередных мер.

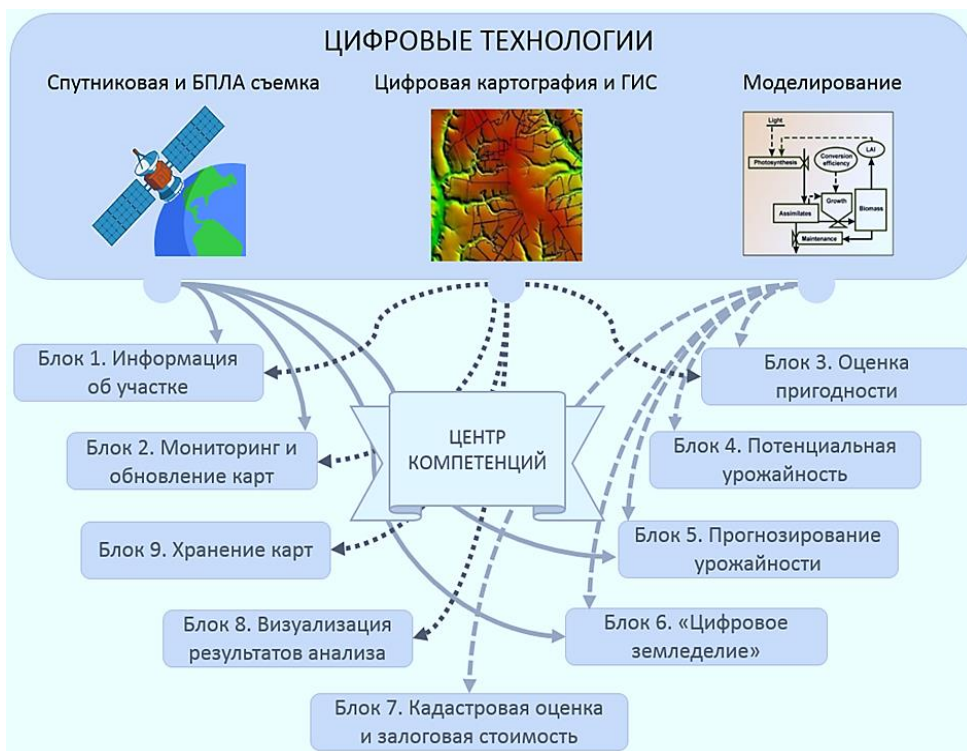


Рис. 2. Функциональные блоки программы «Цифровое земледелие»

ГИС-подложка проекта идеально укладывается на информационную платформу Минсельхоза России, которая уже содержит сведения о 45 регионах. К нему создана методическая и нормативно-правовая фактура, картографический материал в форме Архива почвенных данных из 25 тыс. карт и 23 тыс. очерков (более 8 терабайт информации).

Работа по совершенствованию оценки качества почв и земель, формированию единого межведомственного информационного ресурса для целей кадастра, рационального использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения и государственного регулирования в этой сфере, сопоставления ведомственной отчетности должна быть организована и материально поддержана, что отражено в форме поручений [5].

К числу первостепенных фундаментальных исследовательских задач относится развитие теории размещения производительных сил, территориального планирования на ландшафтно-экологической основе в системе стратегического планирования и проектирования сельскохозяйственных ландшафтов (агрландшафтов, водохозяйственных, мелиоративных, сельских, лесохозяйственных, селитебных и др.), включая экологическую типологию и оценку земель, группировку экологических и социально-экономических функций ландшафта, методику структурно-функционального анализа. В обобщенном виде эта работа проведена [6].

О необходимости осуществления экстренных мер в этом направлении говорит целый ряд накопленных за годы перманентных реформ противоречий. Земельное законодательство в России, по-прежнему, усложнено и запутано. Оно регулируется по данным ученых ФГБНОУ «Государственный университет землеустройства» более 2000 законодательных документов. Только действия с земельными участками затрагивают сотни федеральных законов. На региональном уровне имеется около 20 тыс. нормативных правовых актов. Земельный кодекс изменялся 109 раз, закон «О кадастре недвижимости» – 49. Земельными отношениями занимается 14 министерств и ведомств. Отсутствие надлежащей правоприменительной практики и контроля не позволяет считать такую законодательную базу самодостаточной.

Увеличивается число земельных споров и судебных разбирательств. Нет системы прогнозирования и перспективного планирования, организации рационального использования земель и их охраны в сельской местности, что создает бессистемность проводимых мероприятий неэффективное использование бюджетных средств и инвестиций бизнес-структур.

Россия едва ли не единственная страна в мире, в которой отсутствует инфраструктура управления землепользованием (земельные суды; земельные банки; полный земельный кадастр; центры по исследованию проблем землепользования; проектно-изыскательские институты и т.д.). Земельно-ресурсный потенциал не поставлен полностью на государственный баланс и балансы предприятий. Земельный налог, собирается в лучшем случае на две трети, обостряется проблема с земельными долями.

Самый острый вопрос – инвентаризация почвенных ресурсов. На землях сельскохозяйственного назначения появилось уникальное в мировой практике явление – крупные латифундии с очаговым ведением сельского хозяйства и свои лендлорды. Они часто социально безответственны, оставляют после себя социально-демографические пустыни. Сведения о состоянии земель и статистика эффективности производства искажены, некорректны, недоступны для научного анализа.

По-прежнему нет самого главного акта, который надо свершить на высочайшем уровне – воссоздать в России Федеральную земельную службу.

Программа «Цифровое сельское хозяйство» в рамках ФНТП «Цифровая экономика» открывает новые возможности создания паллиатива Государственной земельной службы, и важнейшей фундаментальной ее составляющей – Единого актуального информационного ресурса о землях сельскохозяйственного назначения, федеральной инновационной цифровой платформы в недрах Минсельхоза России.

Сложная организационная задача на первом этапе может быть решена путем создания управленческо-научно-методического консорциума из структур Минсельхоза России, Минобрнауки России, РАН и Росреестра России. В состав консорциума могут быть включены подразделения Минсельхоза России: 1) Департамент растениеводства, механизации и защиты растений с подведомственной региональной сетью Агротехслужбы; 2) Департамент цифрового развития и управления государственными

информационными ресурсами АПК, в ведении которого находится Единая федеральная информационная система земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН); 3) ФГУП «ГВЦ Минсельхоза России», 4) ФГБНОУ «Государственный университет землеустройства», как головная организация по подготовке инженеров землеустроителей на ландшафтно-экологической основе. Со стороны Минобрнауки в консорциум должны войти ВНИИ Агротехнологий и ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», как разработчик «Единого государственного реестра почвенных ресурсов России» [7], ряда нормативно-правовых документов федерального уровня, руководств по цифровой актуализации картографического материала и агроэкологической оценки земель и проектированию адаптивно-ландшафтных земель и агротехнологий [8, 9]. Чрезвычайно важно восстановить Государственный институт земельных ресурсов, затерявшийся в годы реформ. В состав консорциума могут входить структуры Росреестра, а также бизнес-структуры, развивающие технологии инвентаризации и мониторинга, например, компании Геоскан, Сканекс и др.

Для выхода на уровень наукоемких агротехнологий необходимо выстроить также систему научного, инновационного и проектного обеспечения. Здесь имеются в виду региональные институты Минобрнауки России. Давно назрела необходимость упорядочения структуры и функционирования и других служб, в том числе контрольных, карантинных, экономических и природоохранных. Примером рациональной организации земельной службы может быть Белгородская область. Этот опыт достоин тиражирования. Есть и другие положительные практики.

Функционирование земельной службы может обеспечиваться за счет государственных и муниципальных фондов, пополняемых за счет земельного налога, платы товаропроизводителей за различные изыскания, консультации и другие услуги. Оплата проектно-изыскательских работ должна осуществляться в основном бизнес контрагентами, товаропроизводителями с предоставлением им государственных преференций.

Условия для решения сложной задачи складываются благоприятные. Если этого не произойдет при нас, ждать придется, очевидно, еще долго. Поэтому мы должны сконцентрировать усилия на формировании комплексных программ и проектов полного инновационного цикла по рассматриваемому приоритету, определенному Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации.

Есть ощущение, что работа предстоит большая, через преодоление стереотипов и, по сути, она только начинается. Важно помнить, что дело это государственное.

Литература

1. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 № 642 «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации».
2. Программа РФ «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

3. Указ Президента РФ № 204 от 7 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».
4. Указ Президента РФ от 17 января 2018 №16 «О мерах по реализации государственной научно-технологической политики в интересах развития сельского хозяйства».
5. Протокол №АГ-П11-23пр по итогам совещания, проведенного Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации А.В. Гордеевым в Почвенном институте им. В.В. Докучаева 19 октября 2018 г.
6. Кирюшин В.И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. – СПб.: ООО «Квадро», 2018. – 568 с.
7. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. – 768 с.
8. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство / под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
9. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов. М.: КолоС, 2011. – 443 с.

Е.С. Савченко¹

Выступление губернатора Белгородской области по тематике приоритета

При всем многообразии и актуальности тем, аграрная наука, на мой взгляд, должна сосредоточить свои усилия на раскрытии потенциала Федерального закона № 280 «Об органической продукции...». Почему? Потому, что через реализацию этого закона возможно выйти на решение других, крайне актуальных проблем.

В этой связи позвольте остановиться на нескольких тезисах.

Первый. Состояние наших почв.

Без экологически чистой с постоянно прирастающим естественным плодородием почвы нельзя вести разговор о производстве органической продукции. А привести наши почвы в порядок можно только через биологизацию земледелия и освоения адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Сошлюсь на скромный опыт Белгородской области. 7 лет назад была принята Программа биологизации земледелия, которая предусматривает:

1. Широкое применение многолетних трав особенно на склоновых землях;
2. Обязательные пожнивные посевы сидеральных культур;
3. Внесение всех пожнивных остатков и органических удобрений в почву;
4. Залужение промоин и водотоков;
5. Отказ от глубокой обработки почвы и переход на минимальную и нулевую обработку;
6. Известкование кислых почв;
7. Умеренное и адресное применение минеральных удобрений и пестицидов, в том числе с применением цифровых технологий;
8. Расширение посевов бобовых (прежде всего сои) и накопление биологического азота почвы.

Результат: на каждый гектар пашни возвращается ежегодно 6 т. органического вещества, а вынос с урожаем составляет в среднем 5 т/га. Таким образом, обеспечен бездефицитный, а точнее профицитный баланс гумуса. За последние годы его содержание в почве увеличилось на 0,1 %.

В результате применения комплекса мер по биологизации почвы урожайность повысилась в 1,5 раза и достигла по зерновым 5 т/га, а прибыль с 1 га превышает 10 тыс. руб.

Предложение – РАН сформулировать и инициировать принятие закона о биологизации земледелия.

Второй тезис. Кого должно поддерживать государство?

Агрохолдинги и прочие крупные формы хозяйствования свою историческую роль выполнили – обеспечили продовольственную безопасность. В настоящее время, если их в чем-то и поддерживать, так это в

¹ Губернатор Белгородской области, член-корреспондент РАН

софинансировании со стороны государства научных исследований по схеме 50×50 %. В результате на инновации возможно направлять не менее 80-100 млрд. руб. ежегодно. И это станет мощным стимулом для развития научных подразделений.

Что касается господдержки, то ее необходимо сосредоточить на развитии малого сельского предпринимательства и, прежде всего, семейных ферм. Это, во-первых, а во-вторых, надо поддержать и сельский образ жизни, для чего всем, кто пожелает работать и жить на селе, выдавать длинные и дешевые кредиты до 10 млн. руб. на строительство и обустройство собственного дома.

А если поставить возврат данного кредита в зависимость от наличия детей, то можно создать хорошие стимулы для решения демографических проблем. Давайте не забывать, что русский этнос убывает по 300-400 тыс. человек ежегодно и это серьезный геополитический вызов РФ.

В этой связи предлагаю залежные земли – около 50 млн. га (а они, в основном, находятся в регионах с русским населением) осваивать не за счет крупных, а мелких форм хозяйствования с широкой господдержкой, создав для этого 5-10 млн. семейных ферм. И, таким образом, представляется возможным создать новый экономический уклад на селе – так называемое рекреационное сельское хозяйство, которое станет не альтернативой крупному индустриальному производству, а существенным дополнением, специализирующему на производстве органической продукции и предоставлении туристических услуг.

Предлагаю РАН разработать экономическую, организационную и социальную модель рекреационного сельского хозяйства – главного производителя органических продуктов и одновременно поставщика рекреационных услуг.

И третий тезис – вытекающий из предыдущего:

Предлагаю все вышесказанное подкрепить федеральной программой развития сельских территорий – дополнить 12 нацпроектов – тринадцатым.

Став на путь реализации этих направлений через 5-10 лет мы создадим новый сельский ландшафт, привлекательный для жизни и не только селян, но и горожан. Ибо мегаполисы (агломерации в проекте Стратегии пространственного развития) являются «черными дырами» нашей экономики. Почему? На 1 жителя мегаполиса в год тратится более 50 тыс. руб. на развитие инфраструктуры, а это около 3 трлн. руб. в год в целом по Российской Федерации, а на жителя сельской территории тратится до 5 тыс. руб. Так не лучше ли хотя бы половину этих средств развернуть на развитие сельской России, которая создаст в стране пояс экономического развития и социальной устойчивости?

И.В. Савченко¹

Ресурсосберегающее экологическое чистое растениеводство для получения продукции высокого качества

В ближайшие 10-15 лет в соответствии с «Стратегией научно-технического развития Российской Федерацией» (Указ Президента РФ № 642 от 01.12.2016 г.) приоритетами научно-технического развития РФ в области растениеводства является: переход к передовым цифровым интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам создания систем обработки больших объемов данных и переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, разработка и внедрения систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений.

Что такое цифровые технологии в растениеводстве и защите растений? Это система эмпирических показателей характеризующих биологическую сущность объекта (куда относятся различные базы и банки данных, в том числе и по технологиям), их кодировка, создание на основе этого цифровой копии (в том числе 3D модели объекта) и включение ее в информационную систему. Это, в целом, повысит объективную эффективность, качество и оперативность принятия решения по изучаемому предмету.

Накоплен огромный эмпирический опыт с культурными растениями и агрофитоценозами, которые необходимо осмыслить с позиций современных цифровых технологий.

Ежегодно в России различными институтами проводится 20-26 экспедиций в год по сбору генресурсов (Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР), Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР), ВНИИ кормов, Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства (ВСТИСП) и др.). В результате ежегодно пополняется генофонд (2-3 тыс. образцов) и собирается 0,5-1 тыс. гербарных образцов.

В настоящее время генофонд мировых растительных ресурсов, сохраняемый в ВИРе, насчитывает 329,8 тыс. образцов, представленных 64 ботаническими семействами, 376 родами и 2169 видами [1]. Кроме того, в институтах сельскохозяйственного профиля сохраняется более 50 тыс. образцов. В ФГБНУ ВИЛАР имеется живая коллекция из 1276 видов лекарственных и ароматических растений, а в оранжерейно-тепличном комплексе исследуется 387 видов тропической и субтропической флоры. Для более полного доступа к этой мировой сокровищнице необходимо оцифровка всего этого материала.

В научных учреждениях сельскохозяйственного профиля собраны гербарные коллекции растений (ВИР, ВИЛАР, ВНИИ кормов и др.). Оцифровка и представление отсканированных образцов в сети интернета резко

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, академик РАН

повышает возможность доступа к гербариям широкого круга пользователей. Эффективное использование оцифрованных фондов гербария и коллекций открывает большие возможности в наведении порядка в систематизации растений, а также будут решаться задачи филогенетики, флористики, ареалов произрастания растений.

Проводится широкий спектр молекулярно-биологических и нанобиотехнологических исследований методами молекулярной селекции с целью создания новых форм, сортов и гибридов культурных растений, устойчивых к вредным организмам и неблагоприятным факторам среды (Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени П.П. Лукьяненко, ВНИИ риса, ВСТИСП, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии РАН (ВНИИСХБ), Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР), Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ), Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений (ВНИИБЗР) и др.). На основе генофонда с использованием современных методов молекулярной селекции селекционерами ежегодно в России создается 260-300 сортов и гибридов культурных растений. Так только в 2017 году было создано 295 адаптивных, высококачественных сортов и гибридов, выделено 387 доноров и более 3000 ценных генисточников, разработано более 50 агротехнологий возделывания культур [1]. Для более полного доступа к этому материалу необходима их оцифровка.

Создание современных адаптированных сортов сельхозкультур является наиболее ресурсосберегающим резервом в сельском хозяйстве [2]. Так сорт озимой пшеницы «Алексеич» Краснодарского НИИ сельского хозяйства возделывался в 2018 году на площади 38,5 тыс. га в Краснодарском крае. Сорт среднеспелый, полукарликовый, устойчив к бурой, желтой, стеблевой ржавчине, мучнистой росе, морозостойкость выше средней, устойчив к засухе. В совхозе Казьминский Ставропольского края с площади 1547 га получена урожайность 10,6 т/га, качество зерна не ниже третьего класса. Зерно, полученное с площадей занятых этим сортом в 2017-2018 гг. оценивается в 3,3 миллиарда рублей (затраты на создания сорта – 21,3 млн. руб.).

Одним из постоянно дискутируемых вопросов в растениеводстве является ведение в культуру новых растений. Так в свое время широкая реклама шла борщевнику Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). Сейчас очень активно рекламируется злак Мискантус. Но в тоже время есть ряд уже изученных очень перспективных культур, которые слабо внедрены в практику, характеризуются высокими биологическими и хозяйственными показателями. К числу таких культур относится сорго, который может произрастать как в условиях аридного, так и гумидного климата. Созданы сорта сорго, которые можно использовать для пищевых, кормовых целей, получение спирта, сахара и биоэтанола [3, 4].

Так получены раннеспелые (период вегетации «всходы – полевая спелость зерна» 90-95 дней), белозерные, низкотаниновые, обладающие высокой

потенциальной урожайностью зерна (до 8,5 т/га) сорта сорго зернового, которые можно использовать не только на кормовые цели, но и в качестве сырья для перерабатывающей промышленности (сорта – Зеленоградское 88, Великан, Атаман). Созданы раннеспелые сорта зернового сорго (Дебют, Южное) с вегетационным периодом 104-106 дней, позволяющие получать урожайность зеленой массы на силос 35-40 т/га, абсолютно – сухого вещества 12-14 т/га с содержанием сахаров в соке стеблей до 15% (табл. 1).

Таблица 1

Продуктивность сорго сахарного

Сорт сорго сахарного	Урожайность, т/га		Выход сока, т/га	Содержание сахара в соке стеблей, %	Выход сахара, т/га
	Зеленой массы	Сырых стеблей			
Дебют	35	24,5	19,6	15	2,94
Лиственит	42	29,0	23,2	12	3,02
Южное	40	28,0	22,4	13	2,91

Разработаны технические средства для оснащения технологии фитосанитарного мониторинга с целью прогноза опасных фитосанитарных ситуаций и организации эффективной защиты растений. Совершенствуется российский ассортимент средств защиты растений и разрабатываются современные уникальные препараты. На сегодняшний день разрешено использовать: 362 инсектицида, 434 фунгицида и 770 гербицидов (рис. 1). Всего 1743 пестицида.



Рис. 1. Средства защиты растений

С целью перехода к экологически чистой агропродукции, ежегодные разработки позволяют увеличивать ассортимент биопрепаратов. Сегодня их количество составляет 58 наименований. Разработаны фундаментальные основы и технологии создания, производства и применения новых природоподобных, биологических, биорациональных и химических средств

защиты растений от вредных организмов. Использование цифровых технологий в подобных исследованиях повысит объективность данных.

Вопросы изучения взаимодействия «генотип→среда» занимает одно из центральных мест в развитии теории адаптивной селекции, т.к. такие связи сложны по характеру и степени их проявления. Членом-корреспондентом РАН А.И. Прянишниковым в Институте сельского хозяйства Юго-Востока (НИИСХ ЮВ) [5] показано на примере создания сортов озимой пшеницы, что эффективность отбора предопределяется как выбором селективного фона, так и совокупностью естественных сред, способствующих оценке «генотип-средовой» компоненты вдоль экологического вектора, создаваемого системой мультилокационных испытаний. Кластерный анализ урожайности позволил сгруппировать по характеру реализации продуктивных свойств и выделить группы с высокими показателями. В подобных исследованиях необходимы цифровые технологии.

По сахарной свекле российские гибриды при сравнительном сортоиспытании оказываются продуктивнее зарубежных аналогов, особенно по сахаристости, превышают стандарты на 10% (табл. 2). По устойчивости к почвенным патогенам и длительности хранения российские гибриды значительно превосходят зарубежные. Необходимо налаживание отечественного семеноводства сахарной свеклы. Но это уже дело организационного характера, конечно с участием селекционеров.

Таблица 2
Продуктивность современного гибрида РМС-129 (сезон 2017 г.)

№ п.п.	Наименование участка и стандарта при проведении государственных сортоиспытаний	Урожайность, ц/га		Сахаристость, ц/га	
		standart	РМС129	standart	РМС129
1	Нижегородский (Лада, Россия)	729	655	16,7	17,2
2	Орловский (Алена, КВС)	625	688	16,6	17,6
3	Краснодарский (Агрипина, КВС)	717	770	20,0	23,2
4	Ростовский (Агрипина, КВС)	774	866	18,1	17,7
5	Татарский (Манон, СЕС)	705	717	17,5	18,2
Среднее		710	739	17,8	18,8

Получение продукции садоводства и виноградарства высокого качества остаются постоянно актуальными [6]. Заданные качества урожая – это необходимые требования для обеспечения конкурентоспособности продукции и достижимое условия современного садоводства и виноградарства. Сравнительная оценка плодов импортного и отечественного производства по показателям безопасности в частности – тяжелыми металлами (табл. 3) показала, что плоды отечественного производства содержат значительно ниже свинца, цинка и других элементов, что свидетельствует о возделывании сортов иммунных или высокоустойчивых к болезням и вредителям. В этом большая заслуга селекционеров и фитопатологов.

Оценка плодов импортного и отечественного производства в южных и центральных регионах России показывает значительное превышение качества продукции отечественного производства по ряду компонентов, имеющих функциональную направленность воздействия на организм человека (витамин Р – в 1,1-2,1 раза, антиоксидантов – 2-4 раза и др.). В средней полосе России в сортах российской селекции содержание биологически активных веществ в ягодах земляники (витамин С, Р-активные вещества) характеризуются высокими антиоксидантами свойствами, выше в сравнении с зарубежными [7].

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в образцах фруктов

Образец	Исследуемые металлы (мг/кг сурой массы)				
	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni
	Норма ПДК (мкг/кг сырой массы)				
	0,4	10,0	50,0	5,0	0,5
Яблоки импортные окрашенные (кожица)	0,39	26,58	2,728	0,900	0,209
Яблоки импортные зеленые (кожица)	0,094	3,992	1,303	1,170	0,046
Яблоки сортов селекции СКЗНИИСиВ					
Прикубанское	0,051	2,95	0,67	0,215	0,03
Ренет Кубанский	0,023	2,74	1,17	0,117	0,05

Разработана безшпалерная технология возделывания яблони, что обеспечивает снижение издержек капитального характера (на закладку и уходные работы до вступления в плодоношение) на 448,8 тыс. руб./га или 40,6%, сокращения текущих издержек на производства на 11,5% рост рентабельности продукции.

В отечественной селекции масличных растений наблюдается принципиально новый этап, заключающийся в расширении видовых пределов наследственной изменчивости состава жирных кислот семян. Так, помимо традиционных сортов гибридов масличного направления во Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК) созданы высокоолеиновые сорта и гибриды подсолнечника с повышенным содержанием β (бета) и γ (гамма) – токоферолов с высокой окислительной стабильностью масла. Масло востребовано фармацевтической промышленностью и в фритюрном производстве.

Селекционерами совместно с биохимиками созданы сорта рапса с высоким содержанием олеиновой кислоты (75% – яровых форм, 80% – озимых форм). Увеличение в структуре севооборота рапсосоющих регионов доли рапса позволит увеличить урожайность зерновых культур не менее чем на 10-15%, ежегодно получать дополнительно 350-400 тыс. тонн зерна. В зонах

рискованного земледелия целесообразным является увеличение посевных площадей рыжика.

Во ВНИИ сои совместно с Объединенным институтом высоких температур РАН разработана экологически чистая технология предпосевной обработки семян сои низкотемпературной аргоновой плазмой, которая активизирует выход семян из состояния покоя даже при низких положительных температурах почвы. Это приводит к увеличению всхожести и силы роста, дает возможность получать более дружные и выровненные всходы, повышает сохранность растений в полевых условиях, снижает степень поражения корневыми гнилями в 2 раза. Обработка семян новых сортов сои Китросса и Куханна позволила увеличить урожайность зерна на 0,4-0,8 т/га по сравнению с необработанными семенами.

Овощеводами созданы сорта и гибриды устойчивые к наиболее вредоносным патогенам разработаны ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства продукции высокого качества [8]. Так созданы сорта и гибриды капусты брокколи Спарта с высоким содержанием биологически активных веществ, физалис Оранжевый Жемчуг с высоким содержанием пиктинов и сахаров, перца паприки Кармин, перец острый Рождественский букет и Самоцвет с оптимальным сочетанием капсапentina и капсарубина, томата Осенняя рапсодия с высоким содержанием бета – каротина для диетического питания.

При конструировании адаптивных агроэкосистем и агроландшафтов наиболее перспективен эволюционно-аналоговый подход. Так при изучении генетическое разнообразие галофитов [9], членом-корреспондентом РАН З.Ш. Шамсутдиновым создано 19 сортов галофитных растений (джузгун, камфоросма, кейреук, прутняк, терескен). На основе этого генетического разнообразия в аридных регионах России созданы весенне-летние и осенне-зимние пастбищные экосистемы. Это способствует повышению продуктивности пастбищ с 0,3 до 2,5 т/га сухой кормовой массы. При этом восстанавливается биоразнообразие сильнодеградированных ландшафтов, увеличивается овцеемкость пастбищ в 3 раза.

По данным экспертов в России 20-30 млн. га бывших сельхозугодий не используется по прямому назначению, деградируют. С целью диверсификации сельского хозяйства целесообразно использовать заброшенные пашни под выращивания лекарственных растений.

В ФГБНУ ВИЛАР созданы сорта многолетних и однолетних лекарственных трав [10] для различных зон страны с разной жизненной стратегией: мята перечная *Mentha x piperita* L, пижма обыкновенная *Tanacetum vulgare* L, ромашка аптечная *Matricaria recutita* L, ноготки лекарственные *Calendula officinalis* L, валерьяна лекарственная *Valeriana officinalis* L, наперстянка шерстистая *Digitalis lanata* Ehrh, белладонна обыкновенная *Atropa belladonna* L, шалфей лекарственный *Salvia officinalis* L, расторопша пятнистая *Silybium marianum* (L) Gaertn, эхинацея пурпурная *Echinacea purpurea* L, пустырник сердечный *Leonurus cardiaca* L, маклея сердцевидная *Macleaya*

cordata (Willd) R. Br, лапчатка белая *Potentilla alba* L и др. Всего более 90 сортов (рис. 2).

Из районированных сортов 29 однолетники, 43 многолетники и 13 кустарников. Т.е. для любых местообитаний может осуществляться подбор культур, что будет способствовать не только увеличению сбора ценного лекарственного сырья, но и прекращению деградации земельных угодий.



Рис. 2. Лекарственные травы

Проводились оригинальные исследования академиком И.С. Шатиловым по программированию урожаев сельскохозяйственных культур, основанных на длительных балансовых полевых опытах. Эти исследования были развернуты по всей стране. Но затем наступили другие времена и исследования были свернуты. Следует, на наш взгляд, вернуться к методике этих исследований и на современном уровне с помощью цифровых технологий научно обоснованно планировать урожай сельхозкультур.

Растительность чутко реагирует на изменение экологических показателей. Исходя из этого положения, Л.Г. Раменским были разработаны экологические шкалы растений по отношению к увлажнению (120 ступеней), богатству и засоленности почвы (30 ступеней), пастбищной дегрессии (10 ступеней), высотности (15 ступеней), переменности увлажнения (20 ступеней), аллювиальности (10 ступеней). В основном шкалы разработаны для кормовых растений [11].

Необходимо продолжить эти работы, они вкладываются в цифровые технологии и позволяют создать копию растения в отношении различных экологических факторов. Это целесообразно делать в рамках формируемых комплексных научно-технических программ и проектов в рамках рассматриваемого приоритета Стратегии научно-технологического развития

Российской Федерации. При этом усилия ученых-растениеводов целесообразно направить на сохранение богатого генетического потенциала растений, мобилизацию их биоразнообразия в интересах решения проблемы здоровой пищи, среды обитания и эволюционно-аналоговой регенерации среды обитания человека для перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству с целью улучшения качества и продолжительности жизни.

Литература

1. Отчет Отделения сельскохозяйственных наук РАН о выполнении фундаментальных и поисковых научных исследований в 2017 году – М.: ОСХН РАН, 2018, 412 с.

2. Беспалова Л.А. Развитие генофонда как главный фактор третьей зеленой революции в селекции пшеницы // Вестник РАН, 2015, т.85. № 1, с. 9-11.

3. Алабушев А.В., Ковтунов В.В., Лушпина О.А. Сорго зерновое – перспективное сырье для производства крахмала // Достижения науки и техники АПК. – 2016, т. 30, № 7, с. 64-66.

4. Алабушев А.В. Ковтунова Н.А. и др. Основные факторы повышения урожайности и качества зеленой массы сорго // Успехи современного естествознания. – 2017, № 6, с. 50-55.

5. Прянишников А.И. Научные основы адаптивной селекции в Поволжье. – М.: РАН, 2018. – 96 с.

6. Егоров Е.А., Еремин Г.В. и др. Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. – 569 с.

7. Куликов И.М., Марченко Л.М. Значение генетических коллекций плодовых культур для инновационного развития отрасли // Вестник РАН, 2015, т. 85, № 1, с. 15-18.

8. Пивоваров В.Ф. Генетические ресурсы овощных растений // Вестник Российской академии наук, 2015, том 85, № 1, с. 23-25.

9. Шамсутдинов З.Ш., Савченко И.В., Шамсутдинов Н.З. Галофиты России, их экологическая оценка и использование. – М.: Эдель, 2000. - 399 с.

10. Быков В.А. Мобилизация растительного биоразнообразия в интересах создания эффективных и безопасных лекарственных фитопрепаратов // Научная сессия Общего собрания членов РАН 8 декабря 2015 г. - М.: «Наука», с. 151-163.

11. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. - М.: «Сельхозгиз». – 1956, 472 с.

В.В. Калашников¹

Высокопродуктивное животноводство и аквакультура с заданными показателями качества продукции

В последнее десятилетие животноводство, как важнейшая часть отечественного агропромышленного комплекса, демонстрирует устойчивые темпы роста объемов производства основных видов продукции. Старт этому процессу был дан в 2006 г. с утверждением национального приоритета по ускоренному развитию отечественного животноводства в целях достижения продовольственной безопасности страны.

К настоящему времени по общему производству мяса современная Россия достигла дореформенного уровня и входит в первую десятку мировых производителей по отдельным видам этой продукции. По общему объему производства сырого молока с учетом личных подсобных хозяйств сельского населения Россия также в мировом Топ-10. На фоне сокращения численности поголовья в этот период существенно улучшен генетический потенциал всех видов сельскохозяйственных животных, птиц, рыб, насекомых. Идет мобилизация экспортного ресурса отечественного животноводства. Указанная динамика в основном сняла напряжение на рынке животноводческой продукции в стране, при этом реально обеспечила импортозамещение в этом сегменте продовольствия.

Вместе с тем, к сожалению, только 30% населения России имеют финансовую возможность потреблять животноводческую продукцию в соответствии с медицинскими нормами. Кроме того, подавляющая часть валового прироста мясной продукции достигнута за счет интенсивно развивающейся промышленной отрасли бройлерного производства. Это в значительной степени нарушило традиционную структуру потребления населением мяса по видам. На первое место вышло мясо птицы, заместив в рационах более предпочитаемую и широко распространенную в прошлом говядину.

Если сложить эти факторы, станет очевидным необходимость дальнейшей мобилизации и развития возможностей отечественного животноводства. При этом нельзя не считаться с тем что, несмотря на позитивную динамику на продовольственном рынке, по международным экспертным оценкам системы питания населения наша страна занимает в мировых рейтингах по Индексу продовольственной безопасности только 43-е место, уступая странам с развитой экономикой.

В арсенале средств управления продуктивностью сельскохозяйственных животных в отечественной и мировой практике зоотехнии с разной степенью эффективности традиционно используются три главных регулятора: селекция, кормление и технология.

¹ Руководитель секции животноводства и ветеринарии отделения сельскохозяйственных наук РАН, научный руководитель ВНИИ коневодства, академик РАН

Все действующее ныне отечественное и мировое животноводство создано на протяжении веков селекционными методами в результате искусственного отбора и подбора в ряде поколений на фоне оптимизации технологий кормления и содержания животных, четко структурировано по породам, типам, линиям и фенотипически однородно. Как правило, современные российские рекорды продуктивности по видам животных и массовая продуктивность наших товарных стад, отстают от мировых лидеров примерно на треть. На примере свиноводства видно, что самая многочисленная отечественная порода – крупная белая – уступает зарубежным породам свиней по трем главным признакам: толщине шпика, выходу мышечной ткани и конверсии корма (рис. 1).

Радикальным приемом повышения темпов селекции отечественных животных по главным признакам является скрещивание с зарубежными породами-улучшателями.

Порода свиньи	крупная белая	ландрас	дюрок	гемпшир	пьетрен
					
Длина туловища, при живой массе 100 кг, см	140	142	180-121	115-129	-
Прижизненная толщина шпика, см	2,5	1,8	1,76	1,67	0,5-1,0
Возраст достижения живой массы 100 кг, дней	165	167	162	157	166
Плодовитость маток, поросят на опорос, шт	11-12	10-12	8,7-9,9	6-13	9-10
Среднесуточный прирост, г	916	929	975	854	923
Затраты корма на 1 кг прироста, корм. единиц	3,3	2,8	2,33	2,46	2,88
Выход мышечной ткани, %*	57,2	58,9	59,5	62,2	62,5

*Генетические возможности породы

Рис. 1. Сравнительная оценка селекционируемых качеств в свиноводстве

Этот метод сегодня широко применяется в программах разведения практически всех видов сельскохозяйственных животных. С использованием генотипов голштинского молочного скота американской и европейской селекции и зарубежных мясных пород в последние годы выведены новые высокопродуктивные породы и типы в скотоводстве России. Особо выдающимся стал вновь созданный таким методом «Ленинградский» тип черно-пестрого молочного скота, который не только превосходит представителей отечественных селекционных форм, но и не уступает в продуктивности и качестве молока европейским аналогам (рис. 2).



Рис. 2. Корова-рекордистка АМНИСТИЯ. Годовой надой 20746 кг молока

Другим, более острым методом селекции, реализующим эффект гетерозиса в спариваниях исходных родительских форм, является межвидовая гибридизация, используемая в крупном скотоводстве, овцеводстве и козоводстве. В многочисленных опытах показано, что гибриды по энергии роста превосходят исходных домашних животных вдвое и более раз, при этом дают биологически более полноценное мясо и обладают повышенной резистентностью. Таким путем созданы многочисленные стада улучшенных овец и коз в Ленинградской, Ярославской, Тульской, Рязанской, Московской областях, Ставропольском и Краснодарском краях, в Карачаево-Черкессии (рис. 3).

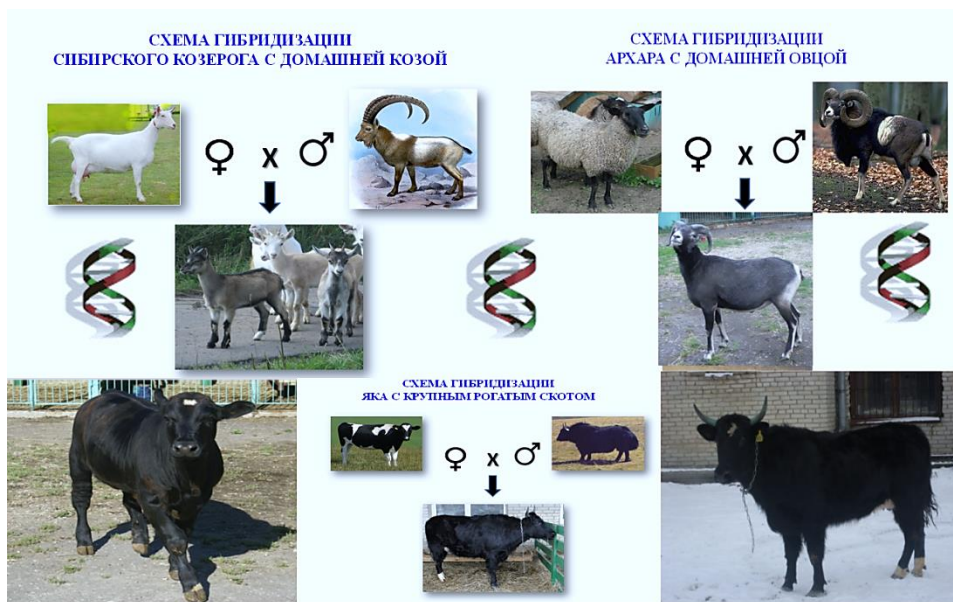


Рис. 3. Варианты межвидовой гибридизации в животноводстве

В научных центрах, отраслевых институтах сформированы и пополняются биокolleкции генетического материала различных видов домашних животных

и их диких сородичей. Самая представительная коллекция криоконсервированного семени производителей разных таксонометрических групп, используемая для разработки методов сохранения животного биоразнообразия и межвидовой гибридизации, сформирована в ФНЦ ВИЖ и активно используется в селекции.

Криобанк семени производителей, сформированный в ФГБНУ ВНИИ коневодства, широко используется в экспериментах по включению в селекционный процесс выдающихся генотипов прошлого периода. Мировым приоритетом отечественных биотехнологов в области коневодства является получение потомков от использования семени, сохраненного в криобанке 40 лет (рис. 4). Данный метод позволяет конструировать консолидированные генотипы потомков выдающихся производителей с использованием близких степеней инбридинга, избегая последствий инбридинг-депрессии.



Рис. 4. Результат использования семени производителей после многолетнего хранения в криобанке

Таких вариантов сочетаний, при которыхкратно возрастает уровень генетического сходства потомков и родителей без нарастания коэффициента гомозиготности в родословной пробанда, невозможно достичь без использования репродуктивных клеток животных длительных сроков хранения. Таким методом традиционная селекция с использованием

биотехнологических приемов позволяет решать важные задачи управления процессом генетической модернизации в различных отраслях животноводства.

Для ускоренного системного решения задачи интенсификации животноводства в соответствии с требованиями национального приоритета, уже недостаточно возможностей традиционных методов селекции, кормления и технологий. На первое место выдвигаются генетические методы, способные радикально обозначить полиморфизмы генотипа животного, скрытые под стандартными фенотипами, сформированными вековой селекцией (рис. 5).

Эволюция методов прогноза племенной ценности производителей

Год	Метод	% повышения достоверности прогноза*
1935	Дочери – матери (ВИЖ)	100
1962	Дочери – сверстницы	50
1989	Animal Model (BLUP) авт. М.Хендерсон	4
2009	Геномная оценка (США), 2015 (ФНЦ ВИЖ)	>50

Эффективность геномной оценки:

Вид животных	Дополнительный генетический прогресс, %
Мясной скот	+29 ...+158
Молочный скот	+60 ...+120
Куры-несушки	+40 ... +100
Свиньи	+20 ... +50
Овцы	+20 ... +40

* Увеличение степени генетического прогресса в селекции показано в условных относительных единицах

Рис. 5. Эффективность геномной оценки производителей разных видов животных

Применение геномных методов при оценке производителей по качеству потомства обеспечивает повышение точности прогноза племенной ценности на 50 процентов и более и, соответственно, вдвое уменьшает интервал смены поколений. Используя геномную оценку животных в программах разведения, получаем ускорение темпов селекции по разным хозяйственно-полезным признакам от 20 до 150 процентов. ФНЦ ВИЖ ведет реализацию ряда исследовательских проектов в этом направлении. Разработан формат и реализуется производственная часть по созданию национальной системы геномной оценки племенной ценности быков-производителей молочных пород.

Начаты комплексные экспериментальные исследования применения геномных методов на поголовье селекционно-гибридного центра по свиноводству в Воронежской области. Это позволит сформировать генетические технологии управления заданными параметрами качества продукции, создать новые исходные формы свиней российской селекции с мировыми уровнями продуктивности и эффективные системы гибридизации. Подготовлена крупная совместная программа научных исследований с международным участием по изучению механизмов генетической детерминации хозяйственно-полезных признаков и продуктивных качеств поголовья всех значимых видов отечественного животноводства и птицеводства с последующей корректировкой программ их разведения.

По программе генетических исследований ведется картирование генов при межпородных скрещиваниях в овцеводстве с целью создания в дочерних поколениях модельных животных, сочетающих заданные признаки. Таким образом реализуется, например, селекционная задача совмещения на уровне генома желательных признаков русской Романовской и американской мясной породы Катадин, обеспечивающая получение потомков с высокой энергией роста, продуктивностью и плодовитостью, обладающих при этом важными технологическими свойствами: способностью к сезонной линьке и короткохвостостью, что является желательными признаками для мясных пород овец (рис. 6).

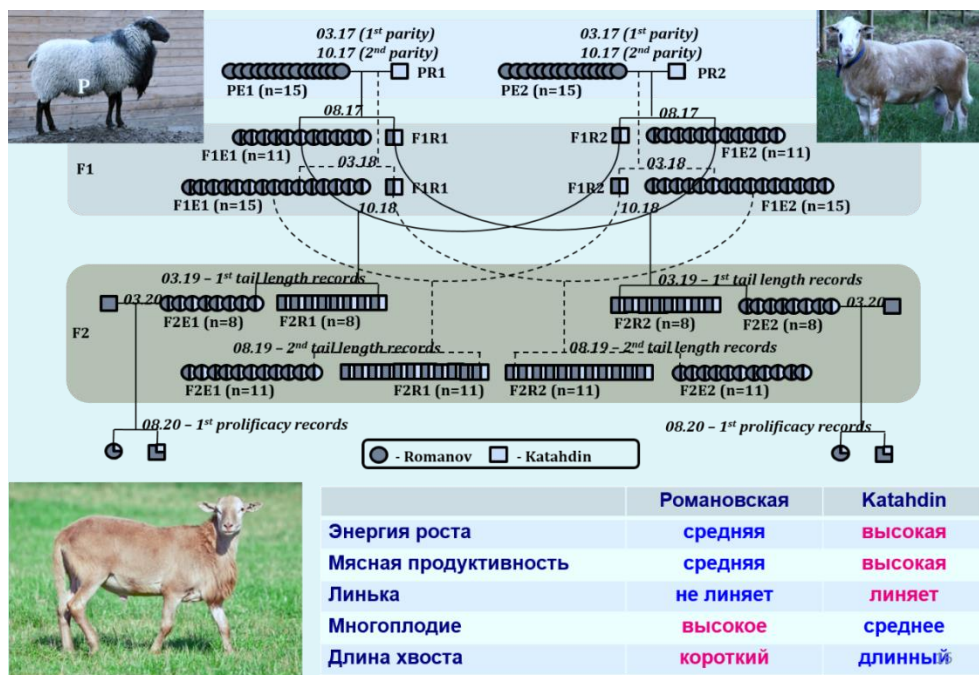


Рис. 6. Пример картирования генов признаков у овец

Важным звеном в методах генетической и биотехнологической модернизации крупных массивов племенных животных и трансформации товарных стад является применение в селекционном процессе цифровых технологий и систем обработки больших данных с использованием разработанного для разных видов животных программного обеспечения «Селэкс». Одним из обязательных технических условий эффективного использования программ автоматизации селекционно-технологических процессов в животноводстве является обеспечение точного съема индивидуальных характеристик по каждому животному. Это является утомительной, рутинной работой, к тому же требующей специальной высокой квалификации и выполнения условий сравнимости экспертных оценок в пределах кластеров и на популяционном уровне.

ФНЦ Биологических систем и технологий РАН ведет разработки интеллектуальных средств и программ сбора данных об экстерьере, конституции, кормовом поведении, особенностях метаболизма питательных веществ в организме животных, обеспечивающих автоматическую фиксацию и перевод на цифровой язык многомиллионных экспертных оценок фенотипических качеств и интерьерных характеристик поголовья (рис. 7).



Рис.7. Модель автоматической фиксации характеристик экстерьера животного

Арсенал биотехнологических методов, используемых в воспроизводстве сельскохозяйственных животных, позволяет в обычной практике тиражировать ценные генотипы с многократным ускорением. Это, в первую очередь, достигается с помощью искусственного осеменения больших массивов животных семенем оцененных по племенным качествам производителей. Значительный резерв заключает в себе технология эмбриотрансплантации, способная существенно интенсифицировать процесс размножения ценных в племенном отношении самок для формирования стад препотентных матерей будущих производителей – лидеров.

Развитие геномных технологий, в том числе методик исследования генома репродуктивных клеток *in vitro*, технологий редактирования генома открывает фантастические возможности ускорения генетического прогресса для видов

медленно растущих сельскохозяйственных животных. Технически это возможно уже сегодня. В мировой и отечественной биологической и зоотехнической науке в настоящее время в полном объеме освоены технологии лабораторного культивирования репродуктивного, клеточного материала, что является базовым условием для последующих операций с геномом сельскохозяйственных животных.

Важнейшее направление исследований по нашему приоритету связано с освоением технологий прижизненного формирования животноводческой продукции заданного качества, включая продукцию для функционального питания разных групп населения. Исследуются условия детерминации тех или иных качественных характеристик продукции факторами среды, кормления, содержания животных, характером обменных процессов в организме.

Отечественными учеными на основании многочисленных острых опытов на сложнооперированных животных выявлены пути метаболизма нутриентов в процессе обмена в организме, что дало четкое представление об энергозатратах на производство различных видов продукции. Это был важный шаг на пути к системе нормированного питания и управления продуктивностью. Сегодня во Всероссийском научно-исследовательском и технологическом институте птицеводства РАН на оперированной («фистулированной») птице получены важные результаты, указывающие на значительные возможности регулирования прижизненного формирования качества продукции рационом питания (рис. 8).

В ряде институтов проводятся исследования содержания в биологических жидкостях, тканях, органах, волосе животных, химических элементов, составляющих основной вес элементного пула организма, с целью оценки влияния их минимума, максимума и оптимума на продуктивные качества и жизнеспособность животных. Показано, что уровни накопления исследованных элементов в волосяном депо пастбищных животных соотносятся с характеристиками биогеохимических провинций в стране, что является значимым для производства продукции, богатой важными для человека элементами. На основании этих данных выстраивается методическая основа для эффективного размещения отраслей пастбищного животноводства по регионам. Важно учитывать при этом, что достижение профицитного баланса макро- и микроэлементов в организме животных в процессе выращивания является важнейшим условием технологии органического производства продукции животноводства.

Исследованиями в коневодстве установлена четкая зависимость работоспособности чистокровных верховых лошадей от содержания химических элементов в их организме в условиях максимального физического напряжения, характерного для периода соревнований. Экспериментально установлено, что победитель главной скачки страны 2018 года на Центральном Московском ипподроме – Приза Президента Российской Федерации – в сравнении с его соперниками имел самый профицитный баланс всех изученных элементов.



Рис. 8. Исследование обменных процессов на оперированных животных и птице

Ветеринарные способы защиты здоровья животных и качества продукции развиваются в стране в соответствии с результатами текущего мониторинга и правилами ветеринарной и биобезопасности. По экспертным оценкам известно, что подавляющая по объему часть лекарственных препаратов, выпускаемых в мире, используется в животноводстве.

В аспекте получения безопасной продукции животноводства наиболее проблемной является ситуация с применением кормовых антибиотиков, стимуляторов роста, накопления мышечной массы и лечебно-профилактических средств. В этой связи особо актуальна задача биологизации разрабатываемых средств профилактики болезней и лечения животных. Магистральное направление исследований в этом направлении – преодоление антибиотикорезистентности вирулентных микроорганизмов, что прямо связано с безопасностью продуктов для человека. В ФНЦ Биологических систем и технологий РАН разработана панель бактериальных биосенсоров, позволяющих детектировать сигнальные молекулы возбудителей заболеваний и созданы ингибиторы антикворум-активности, в т.ч. искусственно синтезированные.

Ветеринарные институты ведут также исследования новых препаратов по замене в питании животных кормовых антибиотиков, по совместному их применению с мультиэнзимными комплексами, пробиотиками и другими биологически активными веществами. Проводятся теоретическое обоснование и разработка принципиально нового поколения высокоэффективных и экологически безопасных методов и средств диагностики, а также способов терапии и профилактики болезней животных, птиц, объектов аквакультуры,

сельскохозяйственных насекомых различного генеза инструментами генной инженерии, клеточной биотехнологии и химического синтеза субстанций лекарственных веществ, инновационными технологиями, методами и средствами обеспечения ветеринарно-санитарного благополучия.

Генерируются знания о протеомных механизмах регуляции саногенетических процессов и модуляции активности клеток иммунной системы животных. Разрабатывается методология выявления изменчивости биологических, молекулярных и генетических свойств возбудителей болезней животных, управления механизмами иммуногенеза и иммунокоррекции. Особо актуальна разработка технологии конструирования адаптивных агробиоценозов и агроэкосистем, обеспечивающих производство органической, экологически чистой животноводческой продукции и долгосрочное продуктивное использование здоровых животных.

В аспекте биобезопасности совершенствуется биоинформационная система мониторинга особо опасных, социально значимых инфекционных и паразитарных болезней животных, совместимая с глобальной информационной сетью средств биозащиты. Разрабатываются актуальные методы прослеживаемости, контроля и генетической идентификации видового состава микробиоты на объектах животноводства, предприятиях переработки сырья, в торговых сетях. Уточняется стратегия профилактики особо опасных инфекционных болезней (в том числе экзотических и зоонозов), критерии комплексной оценки биологической опасности, степени надежности предотвращения актов биотерроризма и эффективности проводимых противоэпизоотических и противоэпидемических мероприятий, а также разрабатываются экспресс-методы диагностики, средства профилактики и лечения особо опасных болезней, включая новые лекарственные формы экокцидов.

В последние годы в мире интенсивно набирает вес в продовольственном обеспечении населения продукция аквакультуры. Данная сфера производства продуктов питания включена в приоритет развития агрохозяйства страны на предстоящий период. В отличие от промыслового вылова рыбы в морских водах, аквакультура является регулируемой сферой производства различных видов продукции с участием человека. В этом смысле аквакультура подвергается воздействию тех же регуляторов, что и отрасль животноводства: селекция, кормление и технология.

В нашей стране в сравнении с мировой пока мизерная доля продукции аквакультуры в общем рыбном балансе – 3,4 процента (3,5 млн.т.) против 56,0 процентов (143,7 млн.т.). В основном это три-четыре вида рыб – карповые, растительноядные, сиговые и лососевые (рис. 9).

Рыбы обладают самой высокой конверсионной способностью в сравнении с животными и птицей, и демонстрируют неповторимую способность отзываться на кормовой фактор, что очень важно для регулирования их продуктивности. Так, путем совершенствования состава комбикорма и технологий кормления при выращивании рыбы удалось снизить конверсию корма в прирост живой массы у форели с 3,5 кг кормовых единиц на 1 кг

прироста до 1 кг кормовых единиц, а у карпа – с 4,3 кг кормовых единиц до 1,5. В обоих случаях интенсивность роста рыбы увеличена за счет фактора кормления в 2,5-3 раза.

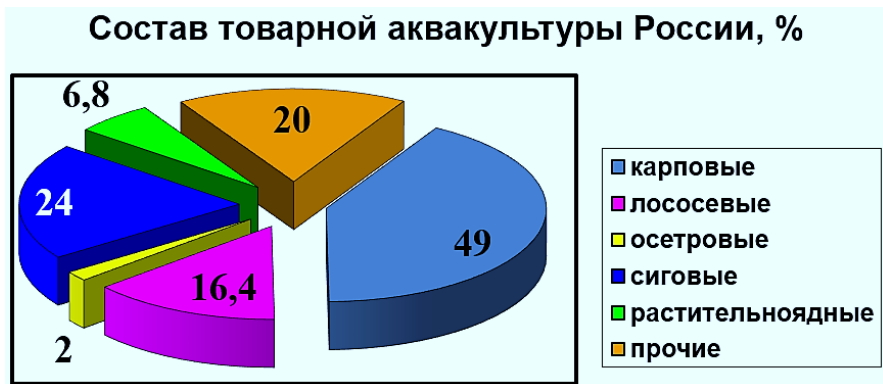


Рис. 9. Доля товарной рыбы разных видов в составе аквакультуры

Установлены многочисленные (более десяти) биохимические, средовые, генетические факторы и разработаны методы управления формированием пола у рыб, что имеет огромное экономическое значение в связи с гендерной разницей в интенсивности роста самцов и самок, а также способностью самок к продуцированию ценнейшего диетического продукта питания населения – икры. Разработаны методики использования биохимических тестов для управления интенсивностью селекции новых пород карпа.

Высокий темп прироста живой массы при этом обеспечивается за счет отбора по уровню активности аланинаминотрансферазы (АЛТ). Это позволяет создавать наследственно устойчивую породу на третьем поколении селекции, вместо пятого, с высокой стрессо- и иммуноустойчивостью, выживаемостью мальков. Ведутся работы по гибридизации осетровых. Одним из самых значимых селекционных достижений является созданный нашими учеными гибрид белуги и ленского осетра, позволивший сохранить от технологического уничтожения из-за погони за черной икрой особо ценный вид осетровых рыб. Для освоения возможностей развития отечественного аквахозяйства в соответствии с приоритетом наши ученые приступили к изучению возможностей использования разнообразных объектов аквакультуры, в том числе сокращающихся в природной среде, как например, семейства речных раков европейского подсемейства *Astacinae*.

Приведенные результаты могут являться научной основой формирования комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла в рамках данного приоритета Стратегии научно-технологического развития России.

А.Ю. Измайлов¹

Интеллектуальные технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства

В настоящее время сельскохозяйственное производство является наиболее динамично развивающейся отраслью нашей страны. Экспорт отечественной сельскохозяйственной продукции по данным РОССТАТА вдвое превышает экспорт вооружений и составляет около 20 млрд долларов в год. В то же время, по данным ВТО экспорт аграрной продукции в развитых странах намного больше: в США – 160 млрд. дол. Нидерландах – 108 млрд. дол., Германии – 94 млрд. дол.

Россия имеет огромный земельный и природный потенциал, который позволит многократно увеличить производство разнообразной сельскохозяйственной продукции, а экспорт довести до 200-250 млрд. долларов в год, что многократно превысит экспорт нефти, газа и вооружений.

В настоящее время проблемными факторами роста сельскохозяйственного производства являются низкая производительность работ и урожайность культур. Усложняют ситуацию существенные потери при уборке, транспортировке и хранении сельскохозяйственной продукции, которые порой достигают 40% [1].

Однако дальнейшее повышение эффективности сельского хозяйства невозможно без преодоления следующих проблемных факторов:

низкая урожайность и качество продукции. Низкая производительность технологических операций;

существенные потери при уборке, транспортировке и хранении сельскохозяйственной продукции, которые порой достигают 30-40% от урожая;

отсутствие точного прогнозирования изменений погодных условий;

дефицит профессиональных кадров.

Применение стремительно развивающихся цифровых технологий, системы интернет вещей, роботизированных комплексов, использование искусственного интеллекта позволит значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства [3], а именно:

повысить производительность труда в 4-5 раз;

увеличить урожайность культур в 3-4 раз;

снизить энергетические и материальные затраты в 2-3 раза;

обеспечить экологическую безопасность сельскохозяйственного производства и окружающей среды.

Разрабатывая концепцию интеллектуального сельского хозяйства, выделяем следующие сферы применения цифровых технологий [8] (рис.1):

комплексное управление сельскохозяйственным производством;

цифровые технологии в растениеводстве, животноводстве, энергообеспечении, хранении и переработке продукции,

¹ Директор ВНИИ механизации сельского хозяйства, академик РАН

цифровую инженерию сельских поселений, которая позволит обеспечить их энергетическую автономность, комфортный быт сельских тружеников, приблизить качество жизни к городским стандартам.

Компоненты процесса цифровизации сельскохозяйственного производства включают [8, 3, 9]:

систему мониторинга условий и параметров агропромышленного производства;

систему передачи информации;

искусственный интеллект и облачные технологии, на базе которых формируются управленческие решения;

реализацию управленческих решений роботизированными техническими средствами.

Реализация цифровых технологий в растениеводстве начинается с мониторинга состояния почвы и растений, функционального состояния мобильных и стационарных технических средств, параметров протекания технологических процессов [2, 6, 15]. Для этого используется система специальных датчиков, наземные и воздушные средства мониторинга, программное и аппаратное обеспечение.

Передача информации в режиме реального времени и процесс синхронизации технологических операций осуществляются при помощи облачных технологий и технологий искусственного интеллекта.



Рис.1. Сферы применения цифровых технологий в сельском хозяйстве

Реализация управленческих решений осуществляется наземными роботизированными комплексами и беспилотными авиационными системами [5, 10] (рис. 2).

В процессе мониторинга исследуются объекты окружающей природы, в первую очередь, почвы и растений. Определяется система показателей, таких как плотность почвы, ее влажность, кислотность, электропроводность, цвет, высота растений и другие. Кроме того, контролируются параметры функционирования исполнительных устройств и технологических процессов.

Помимо результатов текущего мониторинга для формирования управленческих решений используются и обширные системные данные, в частности, информация о рисках и погодно-климатических условиях [8].



Рис. 2. Функционирование цифровых технологий в растениеводстве

При помощи мобильных и стационарных диагностических агрегатов осуществляются (рис. 3):

- исследование и составление электронных карт variability параметров плодородия и технологических свойств почвы;
- оценка состояния посевов: плотности вегетативной массы, засоренности, поражения растений болезнями и вредителями, потребности растений в удобрениях;
- мониторинг изменения состояния окружающей среды.

Средства наземного мониторинга выполняют свои задачи, но не обладают достаточной производительностью и ограничены по условиям применения, так как могут повреждать посевы, уплотнять влажную почву и т.п.

Поэтому перспективно создание и применение для исследования сельхозугодий, определения характеристик почвы и растений технических средств воздушного мониторинга, особенно беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [2].

Процесс мониторинга селекционных полей проводится с помощью комплексной автономной интеллектуальной платформы. Роботизированная платформа проводит комплекс операций по обслуживанию БПЛА, а также отправляет команды для осуществления технологических операций. По

завершению мониторинга в облачной платформе производится анализ полученных данных, по которым создаются электронные карты и формируются команды по внесению рабочей жидкости. На определенные проблемные локальные участки производится дифференцированное внесение рабочей жидкости наземными и воздушными роботизированными средствами [5, 7].



Рис. 3. БПЛА для мониторинга, планирования и контроля этапов сельскохозяйственного производства

Роботизированные средства наземного и воздушного мониторинга получают и передают данные в режиме реального времени в облачную платформу. Искусственный интеллект на основе данных мониторинга автоматизирует реализацию технологических операций роботизированными средствами различного назначения. При этом оператор может управлять всеми процессами дистанционно, корректируя технологии искусственного интеллекта.

В настоящее время активно разрабатываются и внедряются цифровые технологии при выращивании овощей в искусственных экосистемах [9]. Моделируется и контролируется система параметров, активизирующая развитие растений: температура и влажность воздуха, спектр и интенсивность светового потока, подача влаги и питательных веществ к корням растений, подача углекислого газа на листья растений.

В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ разработана роботизированная платформа для индивидуальной подачи питательного раствора к корням растений. Процессы измерения значений освещенности, минерализации, влажности, температуры автоматизированы. Алгоритмы изменения параметров среды и питания базируются на улавливании реакции растений. По изменению цвета листьев, их формы, динамике роста цифровая система вводит коррективы в параметры микроклимата и питания растений.

Беспилотные летательные аппараты и роботизированные машины активно внедряются в технологии содержания многолетних садовых насаждений.

Цифровой мониторинг садовых насаждений с помощью летательных аппаратов позволяет оперативно оценить санитарное состояние насаждений, получить информацию о заболевании кроны деревьев и в онлайн режиме оценить урожайность плодовых культур. Разработаны алгоритмы распознавания степени заболевания кроны и листовой поверхности плодовых деревьев. Полученная информация передается в базу данных для составления цифровых карт состояния деревьев.

Технология мониторинга урожайности позволяет в онлайн режиме моделировать количественное распределение плодов в рядах насаждений и составлять цифровую карту урожайности. Для технологической операции уборки урожая ягодных культур разработана роботизированная платформа с интеллектуальной системой распознавания степени спелости ягод и автоматическим устройством для их съема. Платформа оснащена адаптивной ходовой системой, модулем машинного зрения и системой цифрового позиционирования, которые позволяют осуществлять сбор данных о состоянии плодов, распознавать степень их спелости и в автоматическом режиме осуществлять их сьем.

Разработан робот-сборщик ягод с интеллектуальной системой позиционирования и распознавания спелости ягод. Робот в автоматическом режиме определяет пространственные координаты и количество ягод. Роботизированный манипулятор позволяет производить деликатный сьем ягод без участия человека [11].

Цифровые технологии в животноводстве обеспечивают мониторинг перемещения животных, параметров микроклимата в помещениях, оценку физиологического состояния животных, контроль качества кормов и молока [4, 8, 10] (рис. 4).

Результаты мониторинга передаются на соответствующие системы сбора и обработки информации с использованием технологий интернета вещей и искусственного интеллекта для формирования комплекса управленческих решений, передаваемых на роботизированные комплексы.

Разработаны модульные роботизированные платформы для создания оптимального микроклимата внутри животноводческих помещений, дозированной раздачи кормовых смесей, дифференцированного доения. При этом обеспечивается эффективное использование генетического потенциала животных.

Федеральный центр ВИМ обладает компетенциями и мощной технической базой для реализации пилотных проектов по цифровым технологиям в полеводстве, садоводстве, животноводстве, хранении и переработке продукции, утилизации отходов сельскохозяйственного производства [12, 14]. В центре создана необходимая образовательная инфраструктура, аккредитована магистратура и аспирантура для подготовки специалистов по цифровому сельскому хозяйству [13].



Рис. 4. Функционирование цифровых технологий в животноводстве

При создании цифровых технологий Центр ВИМ формирует новые подходы в области автоматизации, роботизации сельскохозяйственного производства. Внедрение интеллектуальных цифровых систем позволит перейти на качественно новый уровень развития технологий и способствовать решению задач, поставленных Президентом страны. Полученные результаты могут использоваться в качестве научных основ для формирования комплексной научно-технологической программы полного инновационного цикла в области цифрового земледелия.

Литература

1. Жалнин Э.В. Технические инновации в сельскохозяйственном производстве и ресурсосберегающий эффект // АгроСнабФорум. 2017. № 5 (135). С. 62.
2. Соловьев С.А., Цой Ю.А., Тургенбаев М.С., Русаков А.Н. Беспилотники в сельскохозяйственном производстве // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. № 9. С. 59-63.
3. Седов А.М. Цифровизация мониторинга индивидуальных данных доения во взаимointегрированной компьютерной системе управления «стимул-селекс» – основа технологии «big data» в молочном животноводстве // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 3 (31). С. 105-108.
4. Рассказов А.Н. Перспективы развития цифрового молочного животноводства в России // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 3 (31). С. 20-25.
5. Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 4-9.

6. Елизаров В.П., Артюшин А.А., Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 2 (31). С. 12-18.
7. Папушин Э.А. Обоснование структуры информационно-измерительной системы для мониторинга параметров почвы // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 94. С. 101-105.
8. Рубцов И.В., Русанова О.Г., Годжаев З.А. Использование технологий специального назначения в сельскохозяйственной робототехнике // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 1. С. 37-41.
9. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Сычев В.Г., Афанасьев Р.А. Робототехника в агрохимии точного земледелия // Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 53-57.
10. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Марченко О.С., Ценч Ю.С. Создание инновационной техники и ресурсосберегающих технологий производства кормов – основа развития животноводства // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина. 2017. № 6 (82). С. 23-28.
11. Кутырев А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Ценч Ю.С. Магнитно-импульсная обработка семян земляники садовой // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 5. С. 9-15.
12. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Федотов А.В., Григорьев В.С., Ценч Ю.С. Адсорбционно-окислительная технология переработки сточных вод предприятий агропромышленного комплекса // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. № 2. С. 207-221.
13. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Программы подготовки магистров в системе научных учреждений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 3. С. 45-48.
14. A.V. Artamonov, A.Yu izmailov, Yu.A. Kozhevnikov, Yu.Yu. Kostyakova, Ya.P. Lobachevsky, S.V. Pashkin Effective Purification of Concentrated Organic Wastewater from Agro-Industrial Enterprises, Problems and Methods of Solution // VOL.49 NO.4 2018 Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America.
15. Личман Г.И., Лобачевский Я.П., Елизаров В.П., Курбанов Р.К. Использование БПЛА для мониторинга состояния селекционных участков // В сб.: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Материалы IX Международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2017». 2017. С. 311-315.

**А.Г. Галстян¹, Л.М. Аксенова², А.Б. Лисицын³, Л.А. Оганесянц⁴,
А.Н. Петров⁵**

Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов

Проблема количественного и качественного обеспечения населения пищевыми продуктами актуальна на протяжении всей истории человечества. Сегодня она принимает принципиально новые формы в связи с увеличением численности населения планеты и, как следствие, прогнозируемым ростом потребления продуктов питания (рис. 1).



Рис. 1. Обеспеченность населения продовольствием и базовые системные проблемы

Одновременно с процессами глобализации существенно изменяются структура питания и модели потребления; кардинально трансформируются традиционные принципы производства и переработки сельскохозяйственного сырья, в том числе хранение и логистика товаров, опосредовано сопутствующие повышению сроков годности изначально

¹ ВНИИ молочной промышленности, член-корреспондент РАН

² ГНС ВНИИ кондитерской промышленности, академик РАН

³ Научный руководитель ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, академик РАН

⁴ Директор ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, академик РАН

⁵ Директор ВНИИ технологии консервирования, академик РАН

скоропортящейся продукции. Актуализируются задачи идентификации продуктов, в первую очередь по биологическому и географическому признакам; унификации оценочных критериев и объективных принципов расширения их области; модификации традиционных технологий, потенциал которых не предполагает возможность их бесконечного тиражирования.

Отдельной глобальной проблемой, по праву считается, с одной стороны, наличие порядка 800 млн голодающих людей на планете, а, с другой стороны, астрономические цифры потерь готовой продукции – более 1,3 млрд тонн или 33% от общего количества (данные 2017 г.), которые связаны с низким качеством сырья, нарушениями производственного процесса, условиями посттехнологического хранения, логистикой, возвратами излишков торговыми организациями и др. (рис. 2). При этом по прогнозам ООН к 2050 г. глобальные процессы в мире потребуют увеличения производства продовольствия в 1,5-2,0 раза по сравнению с сегодняшним уровнем и, при условии сохранения указанных выше соотношений производства и потерь, последние примут катастрофические масштабы.

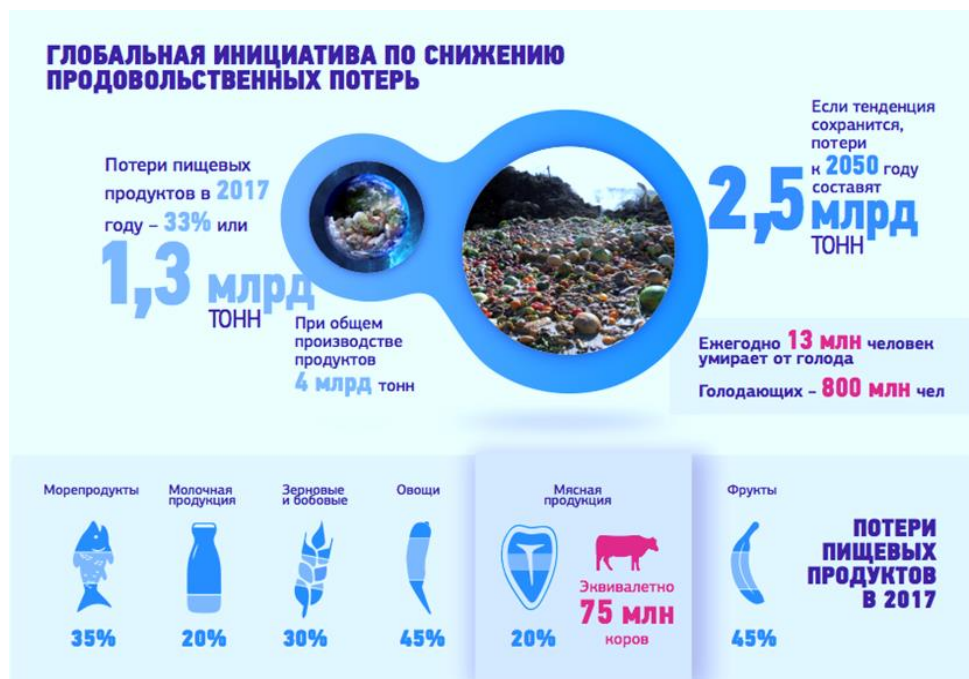


Рис. 2. Потери пищевых продуктов и голод в ракурсе глобальных процессов

Наиболее позитивный сценарий развития ситуации предполагает, что рост объемов производства будет достигнут благодаря разработке высокоэффективных технологий глубокой переработки сырья, созданию «умных» систем хранения и логистики, а также минимизации потерь и отходов (рис. 3).

Соответственно на первый план выходит задача «прижизненного» формирования состава и свойств сырья, являющихся обязательным условием функционирования современных технологий и формирования концепции «умного сельского хозяйства» (рис. 4).



Рис. 3. Принципиальная схема глубокой переработки сельскохозяйственного сырья в продукцию с новым форматом качества

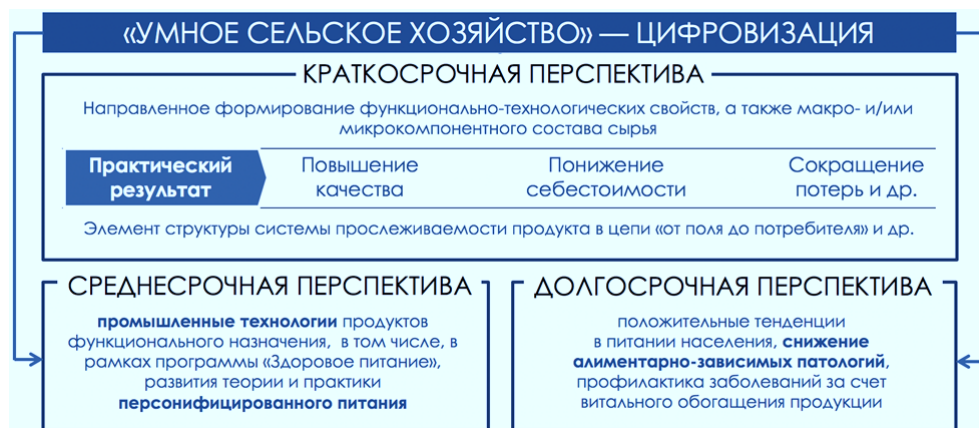


Рис. 4. Прижизненное формирование состава и свойств сырья

Именно с этим направлением связаны потенциальные качественные скачки в развитии технологий, последовательно способствующие развитию положительных тенденций в питании населения, в том числе профилактике алиментарно-зависимых патологий, и последующего перехода к персонализированному питанию.

Априори только при наличии сырья с определенным набором свойств возможно применение глубоких технологий переработки и получения продукции нового формата качества, конкурентоспособной на

международном рынке и с высокой добавленной стоимостью. Это позволит принципиально видоизменить экспортные позиции в сельскохозяйственном направлении, повысить его эффективность в целом и глобально поменять сырьевой вектор развития страны.

При этом следует учитывать, что в структуре технологий закладываются дополнительные энергетические нагрузки, влияние которых на инициацию процессов абиогенной и биогенной потери качества являются по сути новым направлением междисциплинарных исследований. Основным акцентом новых технологий должна являться их инвариантность и универсальность. В качестве примера можно представить данные по унификации процесса растворения как наиболее распространенного и типичного для пищевой промышленности (рис. 5). Проведенные исследования и разработанные программные продукты позволили оптимизировать энергозатраты, а также существенно повысить качество получаемых систем, в частности их хранимоустойчивость.

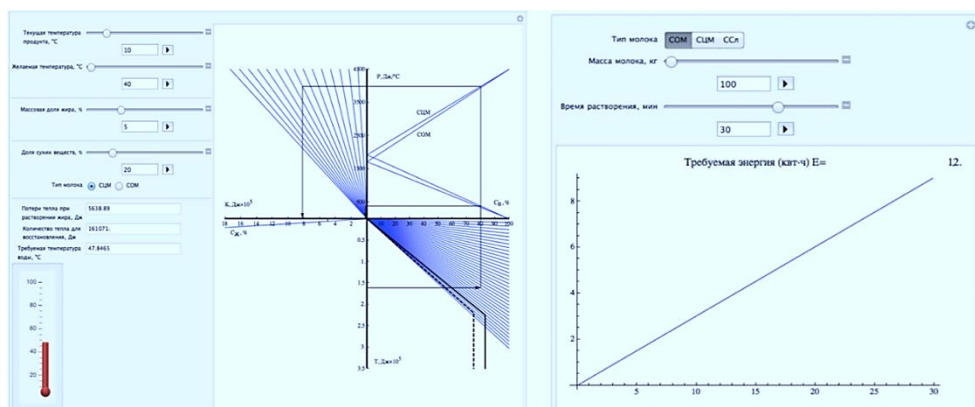


Рис. 5. Программная реализация: номограмма теплового баланса и рациональных энергозатрат процесса растворения

Следует отметить, что именно с хранением связаны достаточно существенные потери пищевых продуктов – порядка 20% от их общего объема (рис. 6). С учетом того, что практически половина всей пищевой продукции относится к группе скоропортящейся и требует соответствующего хранения, разработки в направлении стабилизации пищевых систем имеют первостепенную важность. При этом помимо технологических нюансов стабилизации биологических систем, особый интерес представляют процессовые решения, в частности холодильные цепи с интегрированными элементами цифровых решений, включенные в единую систему прослеживаемости.

Сегодня можно утверждать, что цифровизация стала неотъемлемой частью повседневной жизни. Различные концепции достаточно быстро инкорпорируются в государственные программы и бизнес-процессы. Эти технологии достаточно масштабно и разнопланово интегрируются в область

пищевых систем, в том числе со стороны государственных органов в рамках исполнения контрольных функций.



Рис. 6. Потери как проблема хранения и логистики

В современном мире, как никогда прежде, актуализировалась проблема управления качеством пищевых продуктов. Это обусловлено интенсивным развитием технологий, пробелами в методологической сфере, различиями в законодательствах стран экспортеров продукции, правилами трансграничного сотрудничества и др.

Эта многопараметрическая задача не нова, но именно благодаря цифровым технологиям впервые появилась реальная возможность сделать существенный шаг в ее решении. В частности, для идентификации продукции создана инвариантная методология цифровых профилей (матриц) продуктов в соответствии с их универсальной градацией: подлинный (эталонный), суррогатный, некондиционный и поддельный (фальсификат) – (рис. 7).

Базовая матрица подлинного продукта соответствует эталону качества. Количество регулируемых параметров в ней не ограничивается традиционно нормируемыми показателями и может содержать любую дополнительную информацию как по составу, так и по качеству. Следующей в градации является матрица суррогатного продукта, в которой определены регламентируемые производителем изменения, введенные в традиционный продукт. В большей части случаев суррогатный продукт – это удешевленная копия подлинного.

Не менее редки случаи некондиционного продукта, фактически технологически скрытого обвеса потребителя, когда в продукте компоненты заменены количественно и/или нарушены их природные соотношения. Следует отметить, что сегодня уровень фальсификации пищевых продуктов в России по разным источникам составляет от 20 до 80% по отдельным группам продуктов. Ложная матрица, характерная для фальсифицированного продукта, представляет собой комбинацию псевдоматрицы и видоизмененной матрицы и может нести в себе свойства как суррогатного, так и некондиционного продукта, и их различных вариаций.

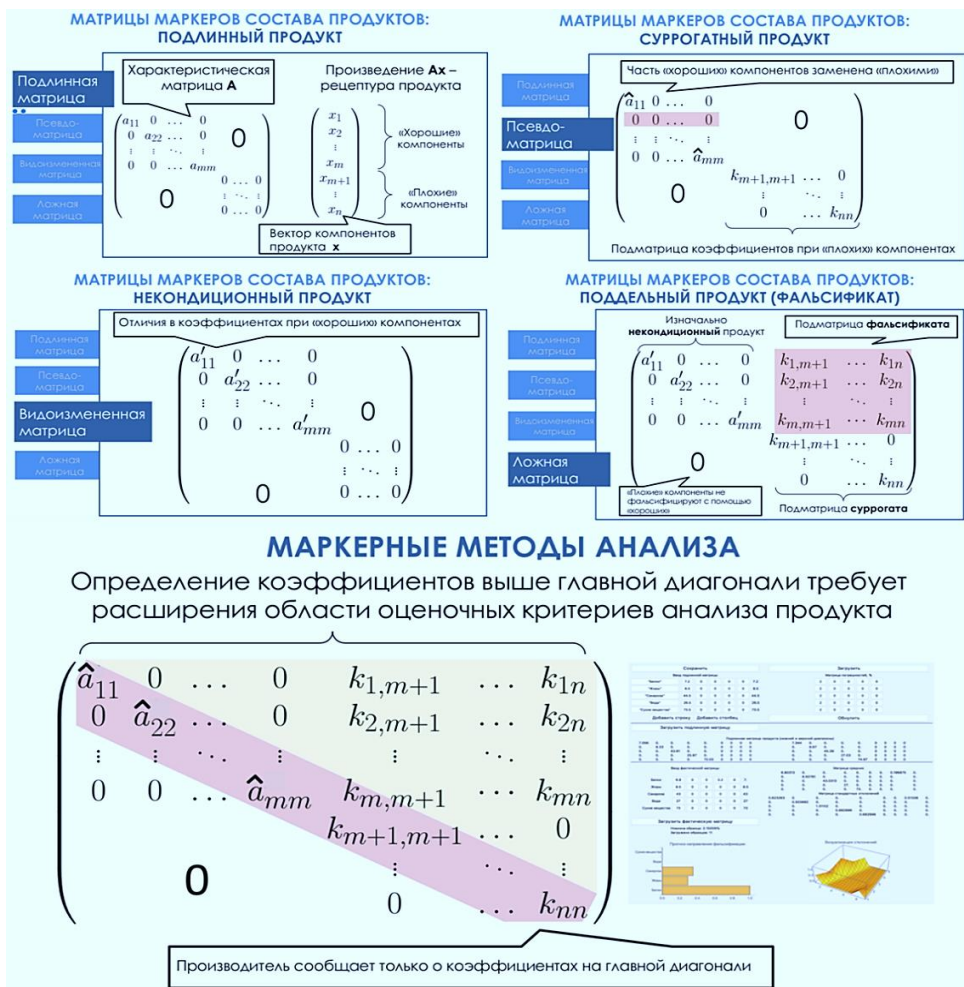


Рис. 7. Инвариантная методология цифровых матриц продуктов в соответствии с их универсальной градацией: подлинный (эталонный), суррогатный, некондиционный и поддельный (фальсификат)

Введено также понятие результирующей матрицы, коэффициенты на главной диагонали которой фактически соответствуют регламентируемым производителями показателям, а область, находящаяся над ней – дополнительным оценочным критериям качества продукта. Для оптимизации работы с матрицами создано программное обеспечение, которое считает усредненную матрицу фактически предоставленных образцов, а также матрицу стандартных отклонений, визуализируя полученный материал в цифровом и графическом виде (рис. 8). Параллельно, программа анализирует относительную новизну продукта по сравнению с эталонным, что по сути является новым подходом к оценке ноу-хау технологий. Отдельно введен алгоритм прогнозирования направлений фальсификации, фактически предопределяющий вектор расширения области оценочных критериев.

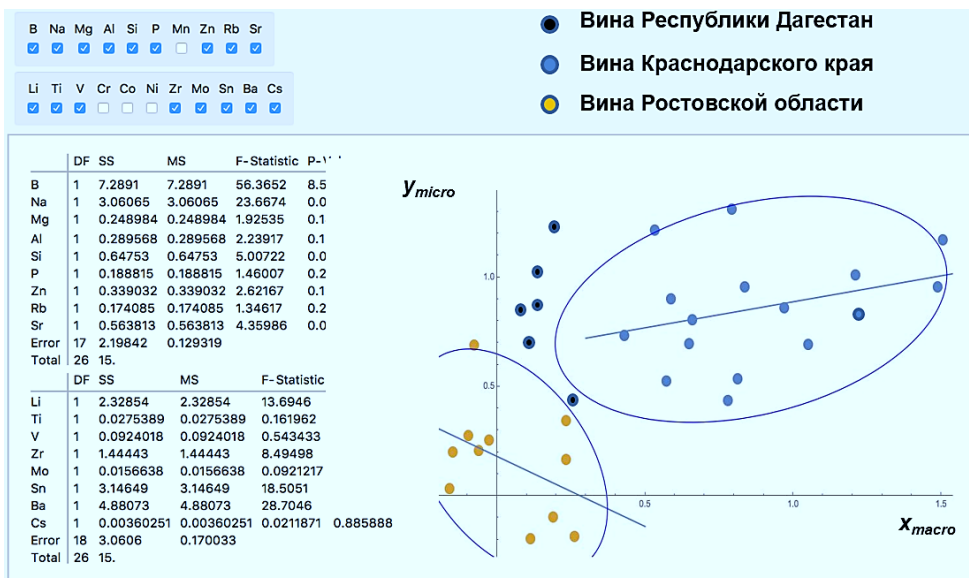


Рис. 8. Дискриминантный анализ географической принадлежности вин по микроэлементному составу: программный интерфейс

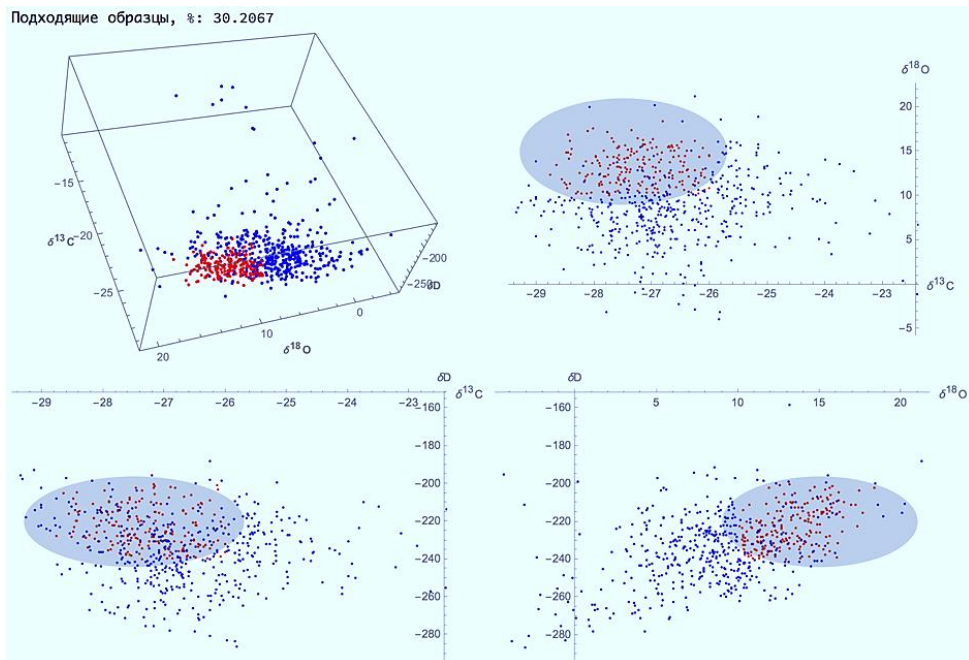


Рис. 9. Результаты изотопного анализа коньяка по кислороду, водороду и углероду (2017 г.)

С использованием предлагаемой методологии процедура идентификации и оценки качества продуктов питания максимально упрощается. При этом реалии сегодняшнего времени предполагают обязательное расширение перечня оценочных критериев и интеграции исконно научных методов исследований в область рутинных лабораторных практик. В частности, рис. 8, данные микроэлементного состава виноматериала и результаты дискриминантного анализа его географической принадлежности позволили дифференцировать продукцию различных производителей даже в рамках одного федерального округа.

Сегодня в целях идентификации соответствия продукции применяется изотопная масс-спектрометрия (рис. 9). Из проанализированных в 2017 году нескольких тысяч образцов коньяка, порядка 70% было забраковано именно за счет расширения области оценочных критериев данными изотопного анализа. Альтернативные варианты идентификации будут построены на ДНК-аутентификация основного биологического компонента, что позволяет опосредованно определять сырьевые ингредиенты, в некоторых случаях и географическое место происхождения (рис. 10).

Параллельно предложены алгоритмы определения рациональности применения того или иного подхода с прогнозируемой точностью результатов (рис. 11). Одновременное применение указанных выше методов позволяет получить результат с достоверностью более 99%.

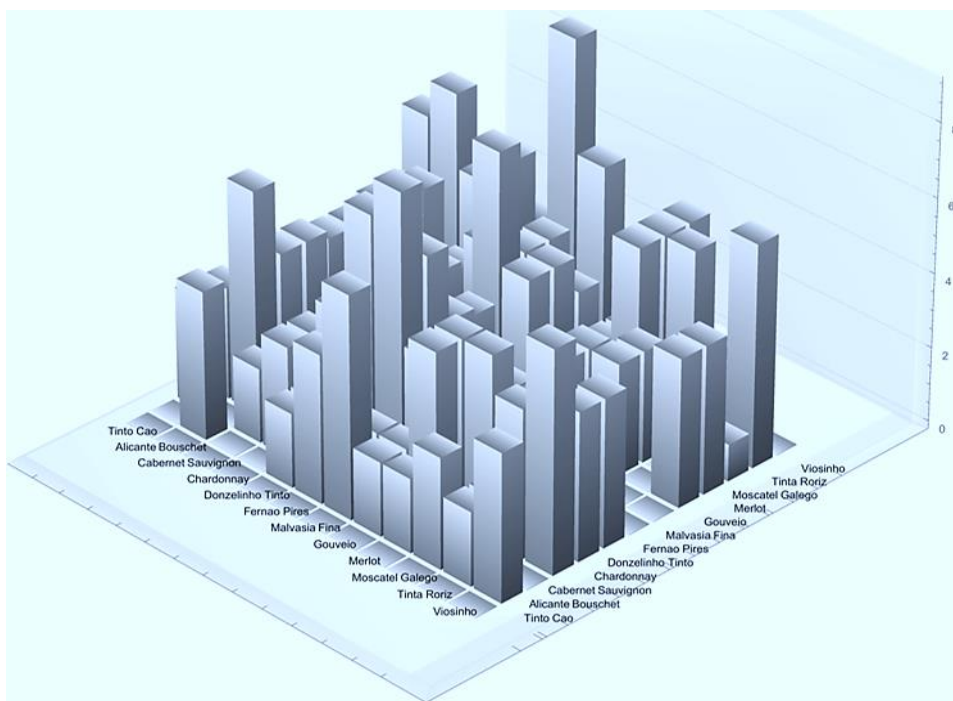
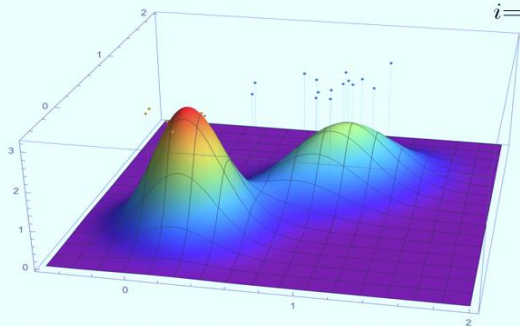


Рис. 10. ДНК-аутентификация: идентификационное расстояние сортов винограда при использовании методики SNP-анализа локуса F3H-гена

$$\left. \begin{aligned} \mathbb{P}(\text{OK}_1 | \text{False}) &= p_1 \\ \mathbb{P}(\text{OK}_2 | \text{False}) &= p_2 \\ \dots \\ \mathbb{P}(\text{OK}_n | \text{False}) &= p_n \end{aligned} \right\} \mathbb{P}(\text{OK}_1 \cdot \text{OK}_2 \cdot \dots \cdot \text{OK}_n | \text{False}) = \prod_{i=1}^n p_i$$

где $\mathbb{P}(\text{OK}_i | \text{False})$ - вероятность ложноположительной идентификации фальсификата как эталонного образца i -м методом



Графическая интерпретация вероятностных эллипсоидов для двух групп образцов

Рис. 11. Комбинация методов для достижения заданного уровня достоверности

С ДНК-технологиями и с чипированием связано еще одно направление исследований, позволяющих пополнить массив цифровизации. Это технологии интегрированных маркеров для количественного и качественного контроля продуктов питания с позиции их прослеживаемости в цепи «сырье – конечный потребитель». Система распределения и хранения информации предполагает применение блокчейн-технологий, формирование базы данных, наличие опции дистанционного считывания информации и многого другого.



Рис. 12. Пищевые системы – область знаний с междисциплинарными исследованиями

Таким образом, положения, отнесенные к пищевым системам в Стратегии научно-технологического развития, соответствуют исторически сложившимся векторам наших исследований в части получения новых знаний и последующего генерирования прикладных технологических, методологических, процессовых решений. При этом направления и форматы работ предполагают наличие самой действенной системы трансфера фундаментальных исследований в прикладные и, наверное, самой большой аудитории потребителей. В то же время, современные скорости развития общества стимулируют разработку инвариантных решений с применением фундаментальных результатов исследований ученых из областей естественных, формальных, медицинских наук (рис. 12). Ведь сегодня уже можно смело говорить о достаточно близкой перспективе персонализированного питания, 3D-продуктах, системах интеллектуальной маркировки, внедрения искусственного интеллекта и робототехники в рутинные процессы производства и контроля пищевых продуктов, применения технологий виртуальной и дополненной реальности и многого другого. Соответственно, пищевые системы – это достаточно конкретная, оперативно формирующаяся область знаний с большим внедренческим потенциалом, не имеющая временных и пространственных ограничений.

А.В. Никитин¹

Высокопродуктивное животноводство и аквакультура с заданными показателями качества продукции

Хотел бы продемонстрировать результаты работы агропромышленного комплекса Тамбовской области и роль науки в их достижении. Сегодня доклады российских ученых, на мой взгляд, убедительно демонстрируют высокий потенциал аграрной науки, и это несомненно так. Не менее убедительно об этом свидетельствуют показатели и результаты, опубликованные в отчете Отделения сельскохозяйственных наук РАН. Могу сказать, что это 224 новых технологии, усовершенствованные технологии технологических процессов производства сельскохозяйственной продукции, 100 единиц новых видов сельскохозяйственной техники, оборудование и, естественно, 830 патентов.

Если принять все это во внимание, казалось бы, какие основания могут быть беспокоиться об импортозависимости сельскохозяйственного производства от высокоэффективной энергоэффективной сельскохозяйственной техники, семян, племенного скота, тем более, когда у нас есть такое большое количество институтов развития? Посмотрите: Внешэкономбанк, Сколковский центр, Российская венчурная компания. Сюда же можно приплюсовать и Россельхозбанк. Это и Фонд развития промышленности, Фонд поддержки малого предпринимательства в научно-технической сфере.

Казалось бы, все эти вышеперечисленные институты развития должны в полном объеме эти наработки, которые созданы коллективами, которые действительно заслуживают в прямом смысле большого уважения.

Так в чем же проблема? Недавно Председатель Правительства Д.А. Медведев сказал, что при таком изобилии научных исследований все-таки скорость внедрения наших научно-исследовательских результатов и разработок, конечно, меньше того, чем нам всем вместе хотелось бы и ожидалось.

На мой взгляд, есть несколько причин. Первая, и самая главная, пусть это будет взгляд из Тамбовской области, из региона достаточно аграрного (рис. 1).

Пока высокотехнологичный бизнес, который имеется в Агропромышленном комплексе, заинтересован в покупке стартапов и в использовании тех результатов исследовательской работы, которые получены не в стенах наших федеральных научно-исследовательских центров, не в стенах аграрных вузов и университетов, а именно в малых инновационных предприятиях, которые созданы при их содействии. Поэтому, конечно, скорость внедрения инноваций и отечественных разработок в агропромышленном комплексе будет такой, какую мы наблюдаем. Ведь покупка стартапов высокотехнологичным бизнесом, о чем свидетельствует передовой международный опыт, это, пожалуй, единственное неперемное условие для множественного создания этих стартапов.

¹ Глава администрации Тамбовской области, доктор экономических наук

Второе – это то, что все-таки ключевым покупателем сельскохозяйственных инноваций является, по-прежнему, наше государство, и мы видим, насколько оно финансирует соответствующие разработки. Несмотря на все эти замечания, объем государственной поддержки, если посмотреть по грантам, он все-таки не уменьшается, а растет. Это очень важно.

И третье. Сегодня тоже, наверное, нужно признать, что мы не в состоянии для крупного и не только для крупного бизнеса, который формирует ключевой инвестиционный потенциал в отрасли, предоставлять готовые инновационные комплексы и инновационные продукты.



Рис. 1. Характеристика Тамбовской области

Хотел бы обратить внимание на многомиллиардные проекты в Тамбовской области. Вообще Тамбовская область с точки зрения объема инвестиций в агропромышленный комплекс – один из передовых регионов, один из самых аграрных регионов страны: ежегодно 30-35 миллиардов рублей инвестиций в агропромышленный комплекс.

Совсем недавно «Коммерсант» (раньше, чем мы подвели итоги уходящему году) уже опубликовал эту информацию. У нас объем инвестиций в региональный АПК – 35 млрд. руб., а в структуре валового регионального продукта – более 30 процентов. Таких регионов в стране можно по пальцам пересчитать. Доля сельского населения – самая высокая. Казалось бы, при такой структуре региональной экономики вклад отечественной науки, отечественных аграрных исследований вузов и федеральных научных центров должен быть максимальным.

В тамбовской области в последние три-четыре года реализован ряд крупных проектов. Стоимость – от 1 млрд. до 20 млрд. рублей. В разработчиках проектов есть общества с ограниченной ответственностью, консалтинговые организации, например, «МакКинзи», «Райс вотерхаус». Это ключевые организации, которые позволили реализовать эти инвестпроекты и внести вклад в развитие всей сельскохозяйственной отрасли. Сегодня Тамбовская область занимает вторую позицию в стране по производству мяса. Уверен, что при такой динамике при реализации инновационных проектов через год, я думаю, у нас есть все шансы стать абсолютным лидером.

Какие предложения? Конечно, предложения по инфраструктуре. Не случайно в Национальном проекте «Наука» ключевое значение имеет не просто научная и научно-производственная кооперация, а, в первую очередь, создание передовой инфраструктуры для научно-исследовательской деятельности.

Думаю, что если во всех отчетах (научных, региональных, отраслевых), наряду с теми показателями, о которых я говорил в самом начале, будет указано, сколько мы создали инжиниринговых центров, маркетинговых центров, центров коллективного пользования, научно-образовательных центров, агротехнопарков, то тех проблем, которые мы имеем с коммерциализацией научно-технологических разработок, станет меньше.

Мы разработали проект по созданию инновационно-технологического центра в городе Мичуринск, в единственном аграрном наукограде России, расположенном в Тамбовской области. Этот проект прошел различные экспертные площадки и обсуждения. Мы выражаем личную признательность президенту РАН Александру Михайловичу Сергееву за то, что он имел возможность познакомиться с этим проектом. В Академии наук состоялось обсуждение. Мы обсуждали этот проект в профильных комитетах Госдумы и Совета Федерации, в Высшей школе экономики.

Возможности, которые предоставляет закон, это: в первую очередь, налоговые преференции для малых инновационных предприятий, для тех предприятий, которые созданы с участием вузов и федеральных научных центров. Это возможности по льготным подключениям различной технической документации для создания и более активного участия не только крупного бизнеса, – речь идет, в первую очередь, о малых и средних формах хозяйствования. Но здесь мы натолкнулись на одну очень серьезную проблему.

Учредить федеральный инновационный научно-исследовательский центр могут либо университеты, либо ФИЦ, имеющие определенную категорию. Два года назад при поддержке Российской академии наук и тогда ФАНО, а ныне Минобрнауки России, мы создали такой федеральный научный центр. Два года профункционировали, сегодня не имеем возможности в инициативном порядке выйти на категорирование федерального научного центра, потому что для того, чтобы получить ту категорию, которую мы ожидаем (естественно, первую, – предварительный анализ показывает, что в своей референтной группе наши показатели выше среднего), к сожалению, год выпадает.

Но больший акцент, пожалуй, я сделаю не столько на федеральном научном центре, сколько на аграрных университетах. Здесь вижу многих коллег по своей прежней жизни, ректоров. Сегодня ни один аграрный университет в принципе не может создать инновационный научно-технологический центр только потому, что не имеет статуса федерального университета или национального исследовательского.

По инициативе и предложению Александра Михайловича я подготовил обращение в адрес Министерства науки и высшего образования, Министерства сельского хозяйства, Министерства экономического развития Российской Федерации. На прошлой неделе был у Председателя Правительства, к которому обратился с этим обращением, чтобы хотя бы в Министерстве сельского хозяйства мы могли бы сформировать группу университетов (как минимум, два-три, а лучше пять), которые могли бы быть приравнены к статусу национальных исследовательских университетов. А показатели у многих (не только у трех-пяти!) достойные, чтобы участвовать в создании той необходимой инфраструктуры, которая позволит нам иметь результаты по коммерциализации наших исследований и разработок.

В Российской академии наук 250 институтов связаны с работой агропромышленного комплекса страны. Поэтому, уважаемые коллеги, я приглашаю всех к сотрудничеству, к созданию нашего инновационного научно-технологического центра. Не только приглашаю ваши коллективы, но ваши и инфраструктурные подразделения, и организации, и малые инновационные предприятия.

В.А. Семенов¹

Опыт цифровой платформы сбыта сельскохозяйственной продукции

Сельское хозяйство имеет огромный потенциал в цифровизации.

Мы знаем, что сельское хозяйство – один из самых сложно управляемых объектов, потому что постоянно меняются разные вводные, и многие решения до сегодняшнего дня агрономы и агротехники принимали во многом на интуитивном уровне, потому что не имели полной картины на своем производственном объекте.

Мы понимаем, что повысить производительность труда и управления без цифровизации просто невозможно. Это позволяет сократить время и для принятия решений, прогнозировать риски и управлять ими, использовать свободное программное обеспечение.

Сегодня мы добились результатов в «умном» орошении, в точечном земледелии, в ресурсном планировании, в «умном» хранилище в учете и контроле. И самая приятная вещь, которая есть только у нас, – мы попытались сделать цифровую платформу сбыта продукции. Для нас важно, чтобы на конце мы получили интегрированную систему поддержки принятия решений. Не могу сказать, что у нас уже есть какие-то алгоритмы, но то, что мы всем этим руководствуемся, это безусловно.

Что имеется в виду под «умным» орошением? Сегодня мы делаем гиперлокальный прогноз погоды. У нас на каждые 100 га стоит метеостанция, что дает возможность осуществлять такой прогноз по каждому полю. Это позволяет планировать не только орошение, но и химобработку. Мы сейчас работаем вместе с нероссийской компанией DTN. Она дает нам возможность прогнозировать появление вредителей и болезней, а это совсем другой уровень планирования своей агрономической деятельности.

По точному земледелию. В теплицах, где есть проточная гидропоника, давно нет проблем в этом направлении.

Но то, что касается оперативного анализа почвы в открытом грунте, конечно, в мире еще таких вещей нет, но нам нужен оперативный анализ на всех уровнях почвы, чтобы оперативно принимать решения.

По учету и контролю. Во многих хозяйствах уже подобные вещи есть, может быть, не настолько глубоко это все используется, но это не только мониторинг нахождения техники, контроль ГСМ, автоматическое заполнение документов, 3D-карты, которые мы сегодня делаем по каждому полю, это автоматический подсчет обработанных площадей, автоматическая идентификация механизаторов и видов работ.

Ресурсное планирование. Вот эти все вещи мы складываем, и опять-таки, в конце стоит dtn-компания, именно она нам указывает практически конечное прогнозирование, что делать через день, через два, через две недели. И, конечно, это очень сокращает затраты и скорость управления, точность

¹ Председатель Наблюдательного совета группы компаний «Белая дача», кандидат экономических наук

управления. Например, у нас в два раза сократилось внесение количества удобрений, так как мы точно вносим туда, куда нужно.

Мы сегодня храним картофель 11 месяцев. И я так думаю, что именно цифровизация и автоматизация процессов хранения позволяет нам свой картофель иметь в середине июня месяца.

И буквально два слова про цифровую платформу сбыта. Она только-только отработывается совместно с Зерновым союзом. Банки очень этим заинтересовались. Самое ценное в этой платформе – то, что мы способны предложить ее рынку на бесплатной основе. Это означает, что десятки тысяч абонентов, как только мы ее предложим рынку, будут ею пользоваться.

В чем мы бы хотели видеть помощь науки. Конечно, нам нужна разработка математических моделей дифференцированного питания, о чем я говорил, в зависимости от стадии развития, по картофелю мы уже что-то имеем, но нам нужно и по другим культурам; разработка нанодатчиков для определения давления питательного раствора, которого сегодня, к сожалению, ни в России нет, ни на Западе. И нам нужно создание центра компетенций на базе университетов.

С.Д. Каракотов¹

Экологизация систем химической и биологической защиты растений как основа ресурсосберегающего земледелия

Основные функции почвы замыкаются на ключевом показателе – почвенном плодородии. Но активная деятельность человека нарушает способность почвы к саморегуляции и снижает плодородие.

В XX веке данная проблема проявилась наиболее ярко, и во многом это связано с интенсификацией сельского хозяйства. Причиной тому стал комплексный подход к работе на земле. Он включает использование новых, высокопродуктивных сортов и гибридов; модернизацию машинно-тракторного парка хозяйств и внедрение прогрессивных технологий; появление инновационных решений в системе защиты культур; активное использование ХСЗР нового поколения и минеральных удобрений.

Рассмотрим динамику роста урожайности на примере зерновых. Так, в период с 1946 по 1953 гг. данный показатель по СССР составлял 7,5 ц/га. После этого был дан старт программе химизации сельского хозяйства, и урожайность стала расти с каждым десятилетием. Ежегодно советские химические заводы производили свыше 600 тыс. т препаратов, из них свыше 300 тыс. т использовали на территории современной России. Но в 90-х годах прошлого века в отрасли произошел сильнейший кризис: снизилась и интенсивность научной деятельности, и производство препаратов – до 20-29 тыс. т в год.

Кардинальные изменения произошли в последнем десятилетии. Уже к 2018 году производство химических препаратов выросло в пять раз и достигло отметки в 145 тыс. т. Соответственно, увеличилось и их потребление. Начиная с 2004 по 2018 гг. объемы внесенных минеральных удобрений выросли в нашей стране в два раза, а средств защиты растений – в пять раз. При этом средняя урожайность зерновых культур достигла отметки 26,5 ц/га (+62% в сравнении с 1946 г).

Впрочем, наряду с химизацией отрасли, необходимо проводить и ее экологизацию. Основываясь на этой идее, компания «Щелково Агрохим» предлагает концепцию экологизации системы защиты растений (рис.1). Это комплекс мер, позволяющий производителям ХСЗР и агрохимикатов вести работу сразу по трем направлениям: повышение эффективности средств защиты растений, снижение гектарной нормы действующих веществ и сохранение почвенного биоценоза. Следуя данной концепции, можно не только приостановить деградационные процессы, протекающие в почве, но и восстановить уровень плодородия.

Для воплощения данной концепции в жизнь компанией была разработана инновационная система ЭКОПЛЮС. Она сочетает актуальные агрохимические и биологические приемы, позволяющие не только

¹ Генеральный директор АО «Щелково Агрохим», академик РАН

реализовывать генетический потенциал современных сортов и гибридов, но и улучшать состояние почв.

Данная технология преследует несколько целей. Первая – *уменьшение гектарной нормы действующих веществ без снижения общей эффективности пестицидов.*

На решение столь сложной задачи ушли годы, однако научным сотрудникам компании «Щелково Агрохим» удалось создать препараты в виде новейших формуляций: масляных и коллоидных. Эти продукты объединены в группу «ЭКОПЛЮС» и имеют ряд особенностей, отличающих их от пестицидов в виде традиционных формуляций.



Рис. 1. Концепция экологизации системы защиты растений

Коллоидные формуляции (концентрат коллоидного раствора, микроэмульсия, суспензионная микроэмульсия) используют при создании протравителей, гербицидов, фунгицидов от компании «Щелково Агрохим». В сравнении с традиционными формуляциями (КС, СП, КЭ, ВДГ), которые постепенно уходят в прошлое, ключевым отличием коллоидных форм является ультрамалый размер частиц: менее 0,1 мкм (рис. 2). Это позволяет нам давать наименьшую нагрузку на биоценоз, но сохранять высокую эффективность обработок.

В качестве примера рассмотрим процедуру протравливания семян. В отличие от традиционных форм, микроэмульсионные протравители не только обволакивают семена снаружи, но и способны проникать по разветвленной сети макро- и микрокапилляров в глубинные ткани семени, к эндосперму и зародышу. Это обеспечивает защиту растений не только от внешней, но и от внутренней инфекции.

В результате использования инновационных протравителей, растения формируют более развитую и мощную корневую систему, происходит увеличение массы побегов. В 2018 году использование технологий «Щелково Агрохим» на Дальнем Востоке позволило получить до 48 ц/га сои, в то время как средний показатель по стране составил 15,8 ц/га.

На картофеле

Форма препарата	Норма расхода препарата, л,кг/га	Норма расхода д.в. на га	Превышение норм д.в. на га
Зонтран, ККР Метрибузин, ККР 250 г/л	0,4 – 1,4	225	-
Метрибузин, ВДГ 700 г/кг	0,7 – 1,2	665	3 раза
Метрибузин, СП 600 г/л	0,8 – 1,6	720	3,2 раза

Рис. 2. Эффективность коллоидных систем в гербицидах

Масляные формуляции (масляная дисперсия и масляный концентрат эмульсии) актуальны при создании современных гербицидов. Инновационные препаративные формы способствуют равномерному распределению действующих веществ по поверхности листьев и лучшему проникновению через их восковой слой. Образованная при этом пленка препятствует испарению и смыванию препарата.

Кроме того, сам процесс проникновения действующих веществ в клетки растений занимает меньше времени, чем у препаратов с обычными формуляциями.

А теперь главный фактор, объясняющий принадлежность инновационных пестицидов технологии ЭКОПЛЮС. В отличие от традиционных продуктов, они характеризуются сниженной концентрацией действующих веществ, что позволяет ввести в их состав значительное количество эффективных вспомогательных компонентов, усиливающих действие целевых веществ. Это позволяет достичь равную или большую эффективность при сниженных нормах расхода. Отсюда – существенное снижение пестицидной нагрузки, являющееся важным элементом восстановления почвенного биоценоза и получения безопасной продукции.

Следующая цель, которую ставят разработчики системы ЭКОПЛЮС, – *улучшение агроэкологической ситуации в почвах*. Для этого компания «Щелково Агрохим» предлагает следующие решения (включая биологические).

Препараты со сниженным эффектом последствия, которые быстро разлагаются в почве.

К примеру, гербицид Гермес, МД в системе защиты подсолнечника показывает сниженное последствие на культуры севооборота в сравнении с другими продуктами того же назначения.

Биокомпозит-коррект. Это многофункциональный продукт, в основе которого лежит консорциум высокоэффективных штаммов разных видов бактерий. Благодаря своей универсальности, он вписывается в любую технологию и эффективен на разных этапах сельхозпроизводства.

Основное назначение Биокомпозит-коррект – обработка почвы после уборки урожая или непосредственно перед севом. Использование препарата в качестве деструктора способствует ускоренному разложению пожнивных остатков. Это особенно актуально для хозяйств, где практикуют ресурсосберегающие системы почвообработки. Как результат – происходит увеличение супрессивности почвы и вытеснение патогенной микрофлоры, являющейся источником многочисленных заболеваний сельхозкультур.

Таким образом, данный препарат способствует росту плодородия почвы, повышению урожайности, а также снижению заболеваемости следующих в севообороте культур.

И это лишь один способ применения Биокомпозит-коррект. На самом деле, его можно использовать на разных этапах: в том числе при предпосевной обработке семян, а также на вегетирующих растениях.

Ризоформ. Это жидкий инокулянт, предназначенный для обработки семян сои.

В его основе – специализированная соевая клубеньковая бактерия, способная вступать в симбиоз с бобовыми культурами. В результате на корнях растений образуются клубеньки, которые фиксируют молекулярный азот из воздуха и переводят его в форму, доступную для растений. За счет использования препарата Ризоформ, культуры получают из воздуха достаточное количество азота, необходимого для роста и развития посевов на протяжении всего вегетационного периода. При этом на 30-70% уменьшается количество вносимого в почву минерального азота.

Кроме того, частью технологии ЭКОПЛЮС является использование микроудобрений и стимуляторов роста. Для этого в арсенале «Щелково Агрохим» имеется широкий спектр продуктов из серий «Ультрамаг» и «Биостим», а также гуминосодержащий препарат Гумат калия Суфлер.

Их задача – активировать всхожесть и прорастание семян, устранить дефицит элементов питания, усилить стрессоустойчивость вегетирующих растений, активировать обменные процессы в клетках. Комплексного эффекта удается достичь за счет сбалансированного состава. Микроудобрения и стимуляторы роста содержат элементы питания, аминокислоты, а также биологически активные органические вещества. Обычно они встречаются в естественной среде и даже продуцируются самими растениями, но из-за ряда факторов – например, при ослабленном состоянии посевов или бедном составе почв, – становятся лимитирующим фактором на пути к формированию высоких и качественных урожаев.

Следующий элемент технологии ЭКОПЛЮС связан с использованием феромонных ловушек. Компания «Щелково Агрохим» – одна из немногих, занимающихся производством такого рода продукции. Для этого в лабораториях компании синтезируют действующие вещества, идентичные половым феромонам насекомых. Данный метод абсолютно безопасен для окружающей среды и не вредит экологической системе.

И еще один важный аспект технологии заключается в применении препаратов специального назначения. В данном списке значится СЕЛФИ – средство, предназначенное для предотвращения растрескивания стручков рапса, сои, гороха путем создания на поверхности стручков полимерной пленки; ЛАКМУС – препарат для улучшения качества воды, регулятор кислотности; ФУРШЕТ – препарат для защиты растений от солнечных ожогов и повышения эффективности использования влаги.

Технология ЭКОПЛЮС находит применение в разных регионах страны. Мы приведем данные, полученные в ООО «Дубовицкое» (Орловская область). За семь лет работы по экологизированной системе защиты растений, здесь сумели добиться заметных результатов. В том числе понизить кислотность почвы и повысить содержание гумуса в почвах (рис. 3).

Показатели	Год анализа			Отклонение, %
	2010	2013	2017	
РН	5,11	5,03	4,9	- 4 %
Гумус %	4,91	5,17	5,42	+ 10,4 %
P2O5 мг/кг	110,6	106,2	111,1	0
K2O мг/кг	160,0	144,6	148,6	- 7,6 %
<p>РН - уменьшилось Гумус - вырос P2O5 - не изменился K2O - незначительно снизился</p>				

Рис. 3. Результаты почвенного анализа за 2010-2017 гг. ООО «Дубовицкое»

Выводы

ЭКОПЛЮС – это технология, которая позволяет повысить урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Решает следующие задачи:

- уменьшение пестицидной нагрузки на почву;
- снижение последствий гербицидов;
- биологизация земледелия;
- оптимизация минерального питания растений.

Соблюдая элементы данной системы, сельхозтоваропроизводители добиваются двойного результата. С одной стороны, происходит повышение и стабилизация качественных и количественных показателей урожая. С другой

стороны, сведены к минимуму возможные негативные последствия от антропогенной деятельности.

Литература.

1. Каракотов С.Д., Голубев А.С., Маханькова Т.А., Желтова К.В. Новый комбинированный гербицид Гермес из класса имидазолинонов // Вестник ВИЗР, 2015.
2. Каракотов С.Д., Долженко В.И., Желтова К.В., Аршава Н.В., Дымов Ю.А. Уникальные фунгицидные микроэмульсионные протравители семян // Сб. «Защита растений в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур» / Материалы межд. научно-практической конференции, 2013, с. 141.
3. Каракотов С.Д., Петровский А.С. Микробиологические препараты в растениеводстве. Альтернатива или партнерство // Защита и карантин растений, 2017, № 2.
4. Каракотов С.Д., Гагкаева Т.Ю., Петровский А.С., Денисов А.Д. Защита яровой пшеницы от листовых инфекций препаратом Биокомпозит-коррект. // Защита и карантин растений, 2017, № 5.
5. Каракотов С.Д., Петровский А.С., Денисов А.Д., Евсеев В.В. Использование Биокомпозит-коррект для предпосевной обработки семян зерновых // Защита и карантин растений, 2017, № 7.
6. Каракотов С.Д., Евсеев В.В., Петровский А.С., Денисов А.Д. Влияние микробиологического препарата Биокомпозит-коррект на показатели плодородия почвы при нулевой обработке // Защита и карантин растений, 2017, №8.
7. Каракотов С.Д., Желтова Е.В., Коробейникова Т.И., Божко К.Н. Гербициды для борьбы с падалицей имидазолинон устойчивого подсолнечника в системе защиты культур от компании «Щелково Агрохим» // ВНИИФ, 2016, № 7.
8. Codes for Formulations (Catalogue of pesticide formulation types and international coding system, Technical Monograph no 2, 6th Edition, CropLife International).

И.П. Биленкина¹

О роли науки в сельском хозяйстве

Наше мероприятие проходит в условиях огромного внимания Президента страны и всего государства к роли науки в дальнейшем развитии экономики нашей страны в ее технологической и продовольственной безопасности.

В принятой 1 декабря 2016 года Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации одним из приоритетов указан переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству и т.д. По этому приоритету образован Совет, который возглавила И.М. Донник. Это огромный шаг вперед в понимании той роли науки в сельском хозяйстве, которая сегодня действительно назрела и необходима.

Совет создан для решения той же самой проблемы, которая у нас повторяется уже на протяжении многих лет – наладить диалог между основными участниками – наукой, регионами, бизнесом и федеральными органами исполнительной власти. Мне кажется, что диалог уже налаживается.

Принята и заработала Программа обеспечения сельского хозяйства. Сегодня в первой половине дня состоялось очередное заседание президиума Совета этой программы, которую возглавляют А.В. Гордеев и А.А. Фурсенко.

Уже сегодня отобран наконец первый комплексный научно-исследовательский проект. Проекты будут финансироваться одновременно из нескольких абсолютно разных источников. Это основная проблема наших проектов. Здесь и Комиссия по сельскому хозяйству, и Минобрнауки России, а также деньги бизнес-партнеров и инвестиционных фондов.

Это та проблема, которая должна быть решена, чтобы то, что было задумано, те заделы, которые есть у института, завтра появились на полях, на прилавках магазинов и на наших столах. Я надеюсь, что сегодняшнее историческое событие, которое мы видели на Научной сессии Общего собрания членов РАН, позволит дать очередной толчок решению этой наболевшей и уже перезревшей проблеме.

Минобрнауки России до конца года дорабатывает порядок формирования КНТП и проектов полного инновационного цикла. По этим нормативам те решения, те вопросы и задачи, которые выработает Совет под руководством Ирины Михайловны, уже можно будет сформировать в виде программ и представить на защиту, дальнейшее рассмотрение и финансирование. Это даст результат в виде решения тех проблем, которые обозначены и нашим бизнесом, и руководителями регионов.

Хочу сказать, что сегодня уже беспрецедентна роль науки – сельхознауки, биологической науки – в жизни людей. Указом президента № 204 нам заданы новые планки. Это и продолжительность жизни до 78 лет, и условия нашей жизни, и наш технологический уровень. Поэтому я уверена, что постановление сегодняшнего собрания и сегодняшние задачи уже завтра будут воплощены в жизнь и реализованы.

¹ Начальник управления Президента Российской Федерации по научно-образовательной политике

**О научной сессии общего собрания членов РАН «Научное
обеспечение реализации приоритетов научно-технологического
развития Российской Федерации»**

**Российская академия наук.
Общее собрание членов РАН.
Постановление № 42 от 14.11.2018 г.**

Задача существенного повышения роли отечественной науки в современных условиях обуславливает исключительную актуальность развития фундаментальных исследований, направленных на своевременное распознавание новых больших вызовов, поиск эффективных ответов на них, реализацию приоритетов, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, и положениями Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

На научной сессии общего собрания членов РАН были заслушаны и обсуждены доклады, посвященные актуальным направлениям фундаментальных исследований и научному обеспечению комплексных программ и проектов полного инновационного цикла для реализации приоритетов научно-технологического развития России.

Научная сессия отмечает:

Российская академия наук придает исключительно важное значение развитию фундаментальных исследований, широкому использованию полученных результатов;

в РАН проведена большая работа по формированию, отбору и экспертизе научных проектов по приоритетам научно-технологического развития, включая междисциплинарные научные исследования, обеспечивающие реализацию Стратегии научно-технологического развития страны;

созданы Координационный совет при Совете при Президенте Российской Федерации по науке и образованию и Советы по приоритетам научно-технологического развития, которые начали свою деятельность по рассмотрению предложений к формированию комплексных программ и проектов полного инновационного цикла;

в научных организациях, организациях высшего образования проводятся и расширяются фундаментальные научные исследования по реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации;

по ряду направлений исследований, соответствующих приоритетам научно-технологического развития России, получены новые научные результаты, в том числе: в ресурсосберегающей энергетике, повышении эффективности добычи углеводородного сырья; исследовании состояния вещества и материалов в экстремальных условиях; разработке роботизированных систем, новых материалов, машинного обучения;

применении методов гуманитарных и социальных наук; противодействию различным угрозам и терроризму; в фундаментальных медицинских исследованиях и практическом использовании их результатов; в обеспечении связанности страны, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики; разработке систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, создании безопасных продуктов питания.

Руководствуясь Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, положениями Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на настоящей научной сессии, общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Одобрить работу, проведенную президиумом РАН, Координационным советом и Советами по приоритетам научно-технологического развития по научному обоснованию, формированию и отбору комплексных программ и проектов полного инновационного цикла в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации.

2. Советам по приоритетам научно-технологического развития обеспечить координацию научных исследований и прикладных разработок, прежде всего, междисциплинарных.

3. Президиуму РАН интенсифицировать работу по развитию международных научных контактов по приоритетным направлениям научных исследований.

4. Президиуму РАН и Советам по приоритетам научно-технологического развития:

обеспечить координацию исследований и разработок, проводимых в рамках реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, с национальным проектом «Наука» и Национальной технологической инициативой;

разработать предложения по обеспечению экономических, регуляторных и административных условий для дальнейшего повышения востребованности научного и научно-организационного потенциала РАН в решении актуальных задач социально-экономического развития страны, интегрированности РАН в достижении национальных целей Российской Федерации;

обратить особое внимание на необходимость укрепления кадрового потенциала науки;

при отборе проектов давать оценку соответствия ресурсного обеспечения поставленным задачам;

разработать предложения по совершенствованию и унификации системы показателей Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации и национального проекта «Наука».

5. Отделениям РАН по областям и направлениям науки и региональным отделениям РАН совместно с Советами по приоритетам научно-технологического развития усилить взаимодействие с федеральными органами исполнительной власти, реальным сектором экономики, научными фондами для инициирования, формирования и реализации комплексных программ и проектов, в том числе, для разработок двойного назначения, изучения и предупреждения возможных экологических последствий при реализации приоритетов научно-технологического развития России.

6. Рекомендовать Минобрнауки России совместно с РАН:

ускорить работу по внесению в Правительство Российской Федерации проекта нормативного правового акта Правительства Российской Федерации, определяющего механизм взаимодействия Минобрнауки России и РАН при реализации возложенных на них полномочий, предусмотренных постановлением Правительства Российской Федерации от 15 июня 2018 г. № 682 «Об утверждении положения о Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации»;

определить конкретные меры по укреплению и развитию материально-технической базы научных организаций;

обратить особое внимание на обновление научно-исследовательского флота и финансирование глубоководных исследований;

разработать и внести в Правительство Российской Федерации предложения по изменению порядка госзакупок для нужд исследований и разработок.

7. При реализации программ фундаментальных исследований по направлениям, определяемым президиумом РАН, учитывать приоритеты научно-технологического развития страны.

8. Президиуму РАН разработать предложения по совершенствованию оценки результативности деятельности научных организаций и научных сотрудников с учетом требований Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, обратив особое внимание на специфику отдельных областей науки, а также исследований и разработок двойного назначения.

9. Научно-издательскому совету РАН по предложениям отделений РАН по областям и направлениям науки, региональных отделений РАН, Советов по приоритетам научно-технологического развития на основе докладов и выступлений подготовить и издать материалы настоящей научной сессии общего собрания членов РАН в виде отдельной книги, а также разместить их электронный вариант на сайте РАН.

10. Представить Президенту Российской Федерации и в Правительство Российской Федерации решения и рекомендации настоящей научной сессии.